

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 05256795 A

(43) Date of publication of application: 05 . 10 . 93

(51) Int. Cl

**G01N 21/88****G01B 11/30****G11B 5/455**

(21) Application number: 04289898

(22) Date of filing: 28 . 10 . 92

(30) Priority: 31 . 10 . 91 JP 03285969  
27 . 12 . 91 JP 03346229

(71) Applicant: HITACHI LTD

(72) Inventor: MATSUYAMA YÜKIO  
SHIMODA ATSUSHI  
KUBOTA HITOSHI  
IWATA HISAFUMI

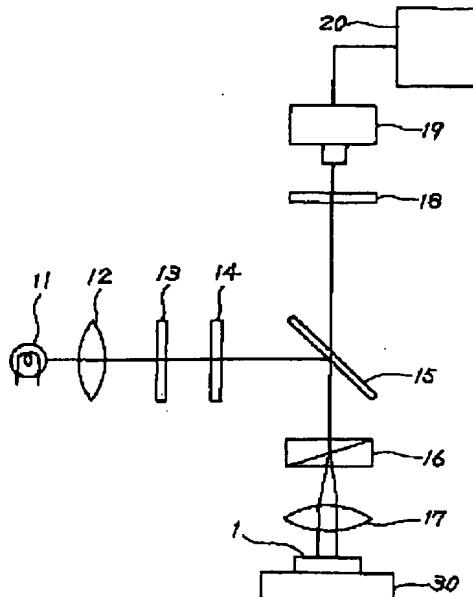
(54) METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING DEFECT, INSPECTING MAGNETIC HEAD AND MANUFACTURING LINE OF MAGNETIC HEAD

very small fissure existing in the surface of the object 20 is detected surely in a state of the fissure being distinguished from a normal slant part.

(57) Abstract:

PURPOSE: To detect surely a cracking in an object caused by an external force or the like while inspection, out being affected by a cut, a void, a flaw, a stain, a blot or the like and in distinction from a normal slant part.

CONSTITUTION: A differential interference microscope is used as a means of detecting an image of an object of inspection. Two images are inputted by setting the direction of polarization of a polarizer so that it is at an angle of  $\pm\alpha$  degrees to the direction of the optical axis of a 1/4 wave plate inserted into an optical path of an illuminating light, in particular, and these images are compared with each other. In a state wherein offset of two kinds of different phase differences is given sequentially between two reflected lights from the object 1 of external inspection by the 1/4 wave plate 14 disposed in the differential interference microscope, the two images are detected by a TV camera 19 and subjected to a prescribed image processing in an image processing part 20 on the basis of a difference image of the two images. Thereby even a



- 11 light source
- 13 polarizer
- 15 half mirror
- 16 Wollaston
- 17 objective lens
- 18 analyser

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-256795

(43)公開日 平成5年(1993)10月5日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N 21/88	J	8304-2 J		
	Z	8304-2 J		
G 0 1 B 11/30	Z	9108-2 F		
G 1 1 B 5/455	E			

審査請求 未請求 請求項の数31(全 35 頁)

(21)出願番号	特願平4-289898	(71)出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地
(22)出願日	平成4年(1992)10月28日	(72)発明者	松山 幸雄 横浜市戸塚区吉田町292番地株式会社日立 製作所生産技術研究所内
(31)優先権主張番号	特願平3-285969	(72)発明者	下田 篤 横浜市戸塚区吉田町292番地株式会社日立 製作所生産技術研究所内
(32)優先日	平3(1991)10月31日	(72)発明者	窪田 仁志 横浜市戸塚区吉田町292番地株式会社日立 製作所生産技術研究所内
(33)優先権主張国	日本 (JP)	(74)代理人	弁理士 小川 勝男
(31)優先権主張番号	特願平3-346229		
(32)優先日	平3(1991)12月27日		
(33)優先権主張国	日本 (JP)		
			最終頁に続く

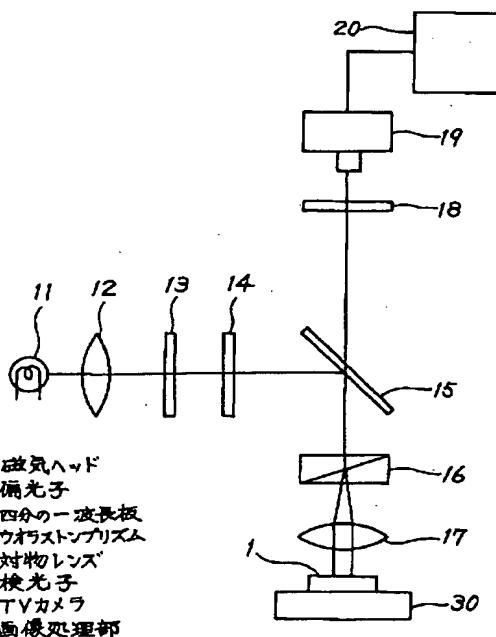
(54)【発明の名称】 欠陥検出方法及びその装置、磁気ヘッド検査方法及びその装置並びに磁気ヘッド製造ライン

## (57)【要約】 (修正有)

【目的】外力等により検査対象に生じたひび欠陥を、欠けやボイド、傷、しみ、汚れ等の影響を受けることなく、しかも正常傾斜部分と区別して確実に検出すること。

【構成】検査対象の画像を検出する手段として、微分干渉顕微鏡を用いる。特に、照明光路に挿入した四分の一波長板14の光軸方向に対し、偏光子13の偏光方向を $\pm\alpha$ 度となるように設定して2枚の画像を入力し、これらを比較する。微分干渉顕微鏡内に配置された1/4波長板14により外観検査対象1からの2本の反射光間に2種類の相異なる位相差のオフセットを順次与えた状態で、TVカメラ19により2枚の画像を検出し、画像処理部20ではその2枚の画像の差画像にもとづき所定に画像処理することで、対象1表面上に存在している、たとえ微小なひび欠陥でも、そのひび欠陥が正常傾斜部分とは区別された状態で、確実に検出されるようにした。

図 10



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも1つの偏光子と1つの検光子及び複像プリズムであるウォラストンプリズムを備えた顕微鏡と、該顕微鏡により得られる像を検出する画像検出器を有し、該画像検出器により撮像した画像の値を、正常部分の値として予め設定した値あるいは該画像から演算して求めた正常部分の値と比較することにより欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項2】少なくとも1つの偏光子と1つの検光子及び複像プリズムであるウォラストンプリズムを備えた微分干渉顕微鏡と、該顕微鏡により得られる像を検出する画像検出器を有し、該画像検出器により撮像した第1の画像の値を、前記顕微鏡の干渉条件を変更して撮像した同一試料に対する第2の画像の値と比較することにより、欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項3】微分干渉顕微鏡の照明光学系内に存在する偏光子を光軸の回りに回転可能とし、光軸上で対物レンズに近い側に四分の一波長板を挿入し、前記偏光子の偏光方向が前記四分の一波長板の結晶の光軸方向に対し予め設定した角度 $\alpha$ となるように設定して被検査対象の第1の画像を検出し、次いで微分干渉顕微鏡の干渉条件を変更するための前記角度が予め設定した角度 $\beta$ となるように前記偏光子の偏向方向を設定して被検査対象の第2の画像を検出し、該第1の画像と第2の画像を比較することにより欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項4】微分干渉顕微鏡の検出光学系内に存在する検光子に対し、光軸上で対物レンズに近い側に四分の一波長板を光軸の回りに回転可能な状態で挿入し、該四分の一波長板の結晶の光軸方向が前記検光子の偏光方向に対し、予め設定した角度 $\alpha$ となるように設定して被検査対象の第1の画像を検出し、次いで微分干渉顕微鏡の干渉条件を変更するため前記角度が予め設定した角度 $\beta$ となるように前記四分の一波長板の結晶の光軸方向を設定して被検査対象の第2の画像を検出し、該第1の画像と第2の画像を比較することにより欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項5】微分干渉顕微鏡の検出光学系において、照明用のハーフミラー（あるいはハーフプリズム）以降で光路を2分割し、2分割された各々の光路内に四分の一波長板および検光子を備え、四分の一波長板の結晶の光軸方向と検光子の偏光方向のなす角度が各々予め設定した値 $\alpha$ 及び $\beta$ となるように設定することで、被検査対象に対する第1の画像と第2の画像を同時に検出することができるようとしたことを特徴とする請求項4記載の欠陥検出装置。

【請求項6】被検査対象の検査表面を、顕微鏡対物レンズの光軸に対して任意の角度となるように制度可能なステージを備えたことを特徴とする請求項1乃至5記載の欠陥検出装置。

2

【請求項7】被検査対象の検査表面を、顕微鏡対物レンズの光軸の回りに回転させることができステージを備えたことを特徴とする請求項1乃至5記載の欠陥検出装置。

【請求項8】照明光から偏光子を用いて直線偏光成分を抽出し、これを複像プリズムにより振動方向が互いに直交し進行方向が異なる2本の光線に分離し、分離した光線で試料上の異なる領域を照明し、試料からの2本の反射光を複像プリズムにより合成し、合成した光のうち干涉する成分のみを検光子で抽出する方法を用い、試料表面の傾斜角度の違いを干渉色あるいはその強度の違いとして検出することにより、試料に存在するひび欠陥を正常部分に対する表面の傾斜角度の違いとして検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項9】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが抽出されるようにした外観検査方法であって、照明光から抽出された直線偏光成分、あるいは合成後の反射光に対し予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ を付加した状態で外観検査対象上の照明領域に対する第1の画像を検出した後は、予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\beta$ を付加した状態で外観検査対象上の同一照明領域に対する第2の画像を検出し、検出された第1、第2の画像より求められた差画像を予め設定されている2種類のしきい値THa、THb各々によって2値化処理することによって第1、第2の2値差画像を作成し、作成された第1、第2の2値差画像を既知とされている正常傾斜領域部分を無視した上で、論理和合成することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみが検出することを特徴とする外観検査方法。

【請求項10】前記外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する際、第1、第2の画像より求められる差画像よりヒストグラムを求め、該ヒストグラム中での最頻度値にもとづき修正更新されたしきい値THa、THb各々によって前記差画像を2値化することを特徴とする請求項9記載の外観検査方法。

【請求項11】照明光源からの、集光状態にある照明光から偏光子により抽出された直線偏光成分を、ハーフミラーを介し複像プリズムによって振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は上記複像プリズムによって合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが検光子で抽出されるようにした外観検査装置であって、外観検査対象を位置決め載置するス

テージと、偏光子・ハーフミラー間、あるいは複像プリズム・検光子間に介在配置され、偏光子からの直線偏光成分、あるいは複像プリズムからの合成後の反射光に対しオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を順次付加する位相差設定手段と、該位相差設定手段により順次設定される位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 各々に対応して、外観検査対象上の同一照明領域の照明領域の画像を順次検出する画像検出手段と、該画像検出手段からの位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の画像を所定に画像処理することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する画像処理手段とを具備したことを特徴とする外観検査装置。

【請求項12】前記照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが抽出されるようにした外観検査方法であって、合成後の反射光を2分割した上、2分割された反射光各々に対し予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を付加した状態で、外観検査対象上の照明領域に対する第1、第2の画像を検出した後は、第1、第2の画像より求められた差画像を予め設定されている2種類のしきい値THa、THb各々によって2値化処理することによって第1、第2の2値差画像を作成し、作成された第1、第2の2値差画像を既知とされている正常傾斜領域部分を無視した上で、論理和合成することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出することを特徴とする外観検査方法。

【請求項13】前記外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する際、第1、第2の画像より求められる差画像よりヒストグラムを求め、該ヒストグラム中での最頻度値にもとづき修正更新されたしきい値THa、THb各々によって前記差画像を2値化処理することを特徴とする請求項12記載の外観検査方法。

【請求項14】照明光源からの、集光状態にある照明光から偏光子により抽出された直線偏光成分を、ハーフミラーを介し複像プリズムによって振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は上記複像プリズムによって合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが検光子で抽出されるようにした外観検査装置であって、外観検査対象を位置決め載置するステージと、複像プリズム・検光子間に介在配置され、複像プリズムからの合成後の反射光を2分割する反射光2分割手段と、2分割された反射光各々に対しオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を付加する第1、第2の位相

差設定手段と、該第1、第2の位相差設定手段各々からの反射光より干渉成分のみを抽出する、検光子としての第1、第2の干渉成分抽出手段と、該第1、第2の干渉成分抽出手段各々からの、位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の、外観検査対象上の同一照明領域の画像を検出する第1、第2の画像検出手段と、該第1、第2の画像検出手段らの位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の画像を所定に画像処理することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する画像処理手段を具備したことを特徴とする外観検査装置。

【請求項15】前記照明光を1方向に1以上の面取加工されたエッジが形成されてなる被検査薄膜磁気ヘッド上の異なる領域を照明し、前記論理和合成することによって、被検査薄膜磁気ヘッド上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出することを特徴とする請求項9記載の磁気ヘッド検査方法。

【請求項16】前記被検査薄膜磁気ヘッド上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみが検出されるに際し、第1、第2の画像より求められた差画像よりヒストグラムを求め、該ヒストグラム中での最頻度値にもとづき修正更新されたしきい値THa、THb各々によって前記差画像を2値化処理することを特徴とする請求項15記載の磁気ヘッド検査方法。

【請求項17】前記外観検査対象が1方向に1以上の面取加工されたエッジが形成されてなる被検査薄膜磁気ヘッドであることを特徴とする請求項11記載の磁気ヘッド検査装置。

【請求項18】前記照明光を1方向に1以上の面取加工されたエッジが形成されている被検査薄膜磁気ヘッド上の異なる領域に照明し、前記論理和合成することによって被検査薄膜磁気ヘッド上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出することを特徴とする請求項12記載の磁気ヘッド検査方法。

【請求項19】前記被検査薄膜磁気ヘッド上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する際、第1、第2の画像より求められる差画像よりヒストグラムを求め、該ヒストグラム中での最頻度値にもとづき修正更新されたしきい値THa、THb各々によって差画像を2値化処理することを特徴とする請求項18記載の磁気ヘッド検査方法。

【請求項20】前記外観検査対象が1方向に1以上の面取加工されたエッジが形成されてなる被検査薄膜磁気ヘッドであることを特徴とする請求項14記載の磁気ヘッド検査装置。

【請求項21】前記磁気ヘッド検査装置を備えたことを特徴とする請求項11記載の磁気ヘッドの製造ライン。

【請求項22】前記磁気ヘッド検査装置を備えたことを特徴とする請求項20記載の磁気ヘッドの製造ライン。

【請求項23】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平

行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定し、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する外観検査方法であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光波長から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に少なくとも $-\phi + \pi/2$ もしくは $-\phi - \pi/2$ なる位相差を付与することを特徴とする外観検査方法。

【請求項24】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光波長から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に $-\phi$ なる位相差を付与することにより、該対象を水平に補正した場合と同様な干渉強度を検出できることを特徴とする外観検査方法。

【請求項25】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光波長から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に $-\phi + \pi/2$ もしくは $-\phi - \pi/2$ なる位相差を付与することにより、該対象に存在する照明光分離方向に傾斜した領域の干渉強度変化を最大として検出できることを特徴とする外観検査装置。

【請求項26】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光波長から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、分離した照明光に $-\phi + \pi/2$ なる位相差を付与した状態において、該対象上の干渉強度を検出した第1の画像と、 $-\phi - \pi/2$ なる位相差を付与した状態での干渉強度を検出した第2画像との差分を演算することにより、該対象上の反射率の違いに影響されることなく、照

明光分離方向へ傾斜した領域の干渉強度変化分のみを最大として検出できることを特徴とする外観検査装置。

【請求項27】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光波長から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に $-\phi + \Delta\phi$ なる位相差を付与した状態において、該対象上の干渉強度を検出した第1の画像と、 $-\phi - \Delta\phi$ なる位相差を付与した状態での干渉強度を検出した第2の画像との平均値を演算することにより、該外観検査装置の構成を変更することなく、通常の落射照明状態において検出した画像と同等の信号強度が得られることを特徴とする外観検査装置。

【請求項28】照明光から抽出された直線偏光成分を反射するハーフミラーと、該反射光を振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離する手段を有する一方、該2本の光線が対象上の異なる2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成する手段と、合成した反射光が該ハーフミラーを透過した後、該透過光を干渉させて検出する構成を有する外観検査装置であって、該2本の光線の互いに直交する振動方向と該ハーフミラーのp偏光方向およびs偏光方向とが一致する構成を有するものであって、ハーフミラーに入射する照明光の振動方向が変化した場合であっても、該干渉強度の変化率を一定として検出できることを特徴とする外観検査装置。

【請求項29】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離する手段を有し、該照明光分離方向が回転可能とした構成において、該照明光により対象上の異なる2点を照明する一方、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成し、合成された反射光を干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該照明光分離方向を光軸を中心として90度回転する前後ににおいて2枚の画像を検出し、該2枚の画像各々から干渉強度が正常部と異なる領域のみを抽出し、各抽出結果を合成することにより、該対象を回転することなく、いずれの方向に傾斜した領域であっても検出できることを特徴とする外観検査装置。

【請求項30】照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、該照明光分離方向が回転可能とした構成において、複数の傾斜平面から構成さ

れる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する手段と、検出された干渉強度を処理する画像処理部と、上記各構成要素を制御する手段とからなる外観検査装置であって、該対象を構成する各平面 $i$ の照明光分離方向1への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光波長から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi_{11}$ を演算し、分離した照明光に $-\phi_{11} + \pi/2$ ,  $-\phi_{11} - \pi/2$ なる位相差を付与したそれぞれの状態での干渉強度を2枚の画像により検出し、該2枚の画像から得られる差画像から照明光分離方向1へ傾斜した領域を検出後、さらに照明光分離方向を90度回転した状態で、平面 $i$ の照明光分離方向2への傾斜角度から反射光に生ずる位相差 $\phi_{12}$ を演算し、照明光に $-\phi_{12} + \pi/2$ ,  $-\phi_{12} - \pi/2$ なる位相差を与えて検出した2枚の画像から差画像を演算し、該差画像から照明光分離方向2へ傾斜した領域を検出後、該2つの検出結果を合成する一方、以上動作を制御信号により、該対象の構成平面数繰り返すことにより、該対象を移動することなく、各構成平面上であらゆる方向に傾斜した領域を反射率の違いに影響されることなく、干渉強度変化分を最大として検出することができる特徴とする外観検査装置。

【請求項3】前記照明光を被検査磁気ヘッド上の2点を照明し、前記磁気ヘッド全面に発生したひび、欠け、傷欠陥を検出することを特徴とする請求項2記載の磁気ヘッド検査装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、外観検査対象、例えば大型計算機用磁気ディスク装置等に使用されている薄膜磁気ヘッド上にひび欠陥が存在しているか否かを、他の種別の欠陥とは区別された状態で検出され得るようにした外観検査方法とその装置、更には外観検査対象を薄膜磁気ヘッドとする磁気ヘッド検査方式とその装置、更にはまた、薄膜磁気ヘッド製造ライン上での最終段階に、ひび欠陥検出用の磁気ヘッド検査装置が具備されてなる磁気ヘッド製造ラインに関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】磁気ヘッドの欠陥を検出する従来技術としては、通常の顕微鏡の照明方法である明視野照明と暗視野照明の各々について検査対象の画像を検出し、これを処理することで欠けやボイドを検出する方法が、アイ・イー・イー・トランザクションズ オン バターン アナリシス アンド マシン インテリジェンス 10巻、6号(1988年)第830頁から848頁(IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.6,(1988) pp830-848)に亘る論文“マシン ビジョン アルゴリズム フォーオートメーテッド インスペクション オブ スイングフィルム ディスク ヘッド”(Machine Vision Algorithm

for Automated Inspection of Thin-Film Disk Heads)に記載されている。欠けやボイドは明視野照明では暗く、暗視野照明ではそのエッジが明るく検出されるため、前記従来技術によりこれらの欠陥を検出することが可能となる。(この技術を従来技術1と称す。)また、検査対象は特に規定していないが、ひび欠陥を検出するための従来技術としては、特公平3-17088に示されるような方法がある。この従来技術では、図1(a)に示す対象にひび欠陥Xが存在し、これを撮像して得られる画像の水平走査線L1上の信号波形が同図(b)である場合、この信号を微分して得られる信号波形(同図(c))の中から、正負の微分パルスが組になって発生している部分をひび欠陥であると判定する。これは、ひび欠陥による亀裂が周囲の正常部分に比べて暗く検出されることを利用したものである。(この技術を従来技術2と称す。)更に、以上とは別に、対象物中での微小な傾斜角度を有する部分のみを強調して検出する方法が、アプライド オプティクス 29巻、26号(1990年)第3769頁から第3774頁(Applied Optics, Vol.29, No.26,(1990) pp3769-3774)に論文“ディファレンシャル インターフィアランス コントラストイメージング オン ア リアルタイム コンフォーカル スキャニングオプティカルマイクロスコープ”(Differential interference contrast imaging on a real time confocal scanning optical microscope)として記載されたものとなっている。この方法では、微分干渉顕微鏡(その原理的構成と機能については後述)の干渉条件を変えて対象物の同一部分に対する2枚の画像を撮像し、これら2枚の画像の差を演算することによって、平坦部分の明るさに影響されることなく傾斜部分のみを強調して検出されるようになっている(以下、この技術を従来技術3と称す。)

##### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来技術1においては、ひび欠陥は積極的には検出され得ないものとなっている。ひび欠陥が正常部分に対し僅かに傾斜していることが考慮されておらず、画像の検出には通常の明視野照明と暗視野照明のみが単に用いられていることから、ひび欠陥部分全体を正常部分と区別して検出しえないというものである。磁気ヘッドの浮上特性上、問題とはならない小さい欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどを許容しつつ、大きな欠けやボイドが検出可とされているが、微小なひび欠陥を検出することは困難となっている。

【0004】また、従来技術2においては、亀裂部分のみがひび欠陥として捉えられており、亀裂部分が通常の照明下で、正常な周囲部分よりも暗いものとして検出されることを利用していることから、亀裂の幅が狭い微小なひび欠陥に対しては十分なコントラストが得られず、微小なひび欠陥を検出することは困難となっている。

【0005】更に、従来技術3では、微小な傾斜角度を有した部分が強調して検出されていることから、その技術はひび欠陥の検出にも適用可とされているが、通常の磁気ヘッドにおけるレール面上には、破損防止の目的で各エッジ部分には面取加工が施されたものとなっている。したがって、その技術を磁気ヘッド上のひび欠陥検出に適用するにしても、微分干渉顕微鏡により検出される傾斜部分のうち、面取加工による傾斜部分（正常傾斜部分）とひび欠陥による異常傾斜部分とを区別して、真のひび欠陥のみを検出することが必要となっている。

【0006】ここで、以上の従来技術について要約すれば以下のようである。

【0007】即ち、通常、ひび欠陥の周囲には一部亀裂が生じているが、この亀裂部分は明視野照明では暗く、暗視野照明では明るく検出され得るものとなっている。これまでにあっては、ひび欠陥は亀裂の部分のみが欠陥であると認識されており、亀裂により囲まれた部分全体が正常部分に対し僅かに盛り上がっており、その表面が傾斜していることは考慮されていないものとなっている。換言すれば、ひび欠陥を積極的に検出することは何等行われていないものとなっている。ひび欠陥を検出しようにも、ひび欠陥の傾斜角度は非常に小さいことから、ひび欠陥部分と正常部分とがほぼ同一の明るさで検出されてしまい、従来技術に係る明視野照明や暗視野照明を以としても、ひび欠陥全体を正常部分と区別して検出し得ないのが実情である。

【0008】本発明の目的は、ひび欠陥の全体を正常部分と区別して検出することにより、欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどの影響を受けることなく微小なひび欠陥を確実に検出可能な、欠陥検出方法及びその装置を提供することにある。

【0009】また本発明の目的は、外観検査対象表面上に本来に存在している正常傾斜部分以外に、たとえ微小なひび欠陥が異常傾斜部分として存在している虞がある場合でも、欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどの影響を受けることなく、そのひび欠陥を正常傾斜部分とは区別された状態で、確実に検出し得る外観検査方法及びその装置を供するにある。

【0010】また本発明の目的は、外観検査対象としての磁気ヘッド表面上に本来に存在している面取加工済エッジ部分以外に、たとえ微小なひび欠陥が異常傾斜部分として存在している虞がある場合でも、欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどの影響を受けることなく、そのひび欠陥を正常傾斜部分とは区別された状態で、確実に検出し得る磁気ヘッド検査方法及びその装置を供するにある。

【0011】また本発明の目的は、磁気ヘッド製造ライン上の最終段階で、磁気ヘッド表面上に本来に存在している面取加工済エッジ部分以外に、たとえ微小なひび欠陥が異常傾斜部分として存在している虞がある場合

でも、欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどの影響を受けることなく、そのひび欠陥を正常傾斜部分とは区別された状態で、確実に検出し得る磁気ヘッド製造ラインを供するにある。

【0012】また本発明の目的は、試料を水平に補正することなく、任意に傾斜した平面上の干渉強度を試料を水平に補正した場合と同一条件とするようにした外観検査方法及びその装置を提供することにある。

【0013】また本発明の目的は、試料を移動することなく、任意に傾斜した平面上の干渉強度と相対的に傾斜した領域の干渉強度との差を最大として検出できるようにした外観検査方法及びその装置を提供することにある。

【0014】また本発明の目的は、試料を移動することなく、任意に傾斜した平面上の反射率の違いに影響されることなく、相対的に傾斜した領域を明るさの違いとして検出するようにした外観検査方法及びその装置を提供することにある。

【0015】また本発明の目的は、微分干渉光学系を変更することなく、落射照明により検出される画像が有する強度分布と同等の画像を実現する外観検査装置を提供することにある。

【0016】また本発明の目的は、落射照明を用いた微分干渉光学系において、偏光方向の変化により干渉強度振幅が不变となる外観検査装置を提供することにある。

【0017】また本発明の目的は、試料を移動することなく、全方向の傾斜に対して干渉強度を有する微分光学系を提供することにある。

【0018】  
30 【課題を解決するための手段】本発明は、ひび欠陥が正常部分に対してわずかな傾斜を有していることに着目し、試料表面の傾斜角度の違いを干渉色あるいはその強度の違いとして検出できる微分干渉顕微鏡を用い、画像検出器により被検査対象に対する画像を撮像し、得られた画像の値を正常部の値として予め設定した値あるいは該画像から演算して求めた正常部の値と比較することにより目的を達成するものである。

【0019】また本発明は、微分干渉顕微鏡を用い、画像検出器により被検査対象に対する第1の画像を撮像し、得られた第1の画像の値を同一試料に対して微分干渉顕微鏡の干渉条件を変更して撮像した第2の画像の値と比較することにより目的を達成するものである。

【0020】特に、微分干渉顕微鏡の照明光学系内部に存在する偏光子を光軸の回りに回転可能とし、光軸上で対物レンズに近い側に四分の一一波長板を挿入し、前記偏光子の偏向方向が前記四分の一一波長板の結晶の光軸方向（以降、単に光軸方向と記す）に対し、予め設定した角度 $\alpha$ 及び $\beta$ となるように設定した各々の状態で、被検査対象に対し第1及び第2の画像を検出し、検出した2枚の画像を比較することにより、わずかな傾斜角度を有し

た欠陥をも高い検出感度で検出することが可能となる。  
【0021】また、微分干渉顕微鏡の検出光学系内部に存在する検光子の前（光軸上で対物レンズに近い側）に四分の一波長板を光軸の回りに回転可能な状態で挿入し、この四分の一波長板の光軸方向が前記検光子の偏光方向に対し、予め設定した角度 $\alpha$ 及び $\beta$ となるように各々設定した状態で、被検査対象に対し第1及び第2の画像を検出し、検出した2枚の画像を比較することによっても、わずかな傾斜角度を有した欠陥を高い検出感度で検出することが可能となる。

【0022】更に、検出光学系の光路をハーフミラーあるいはハーフプリズム等で2分割し、2分割した各光路に四分の一波長板及び検光子を備えることで、比較のための2枚の画像を同時に検出することが可能となる。

【0023】また、被検査対象の検査表面を顕微鏡対物レンズの光軸に対して一定の角度をなすように制御可能なステージを備えることで、干渉色の違いますなわち試料の傾斜角の違いを安定に検出することが可能となる。

【0024】また、被検査対象の検査表面を、顕微鏡対物レンズの光軸の回りに回転させることができステージを備えることで、様々な方向に対して傾斜している微小なひび欠陥を安定に検出することが可能となる。

【0025】また本発明は、照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが抽出されるようにした外観検査方法であって、照明光から抽出された直線偏光成分、あるいは合成後の反射光に対し予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ を付加した状態で外観検査対象上の照明領域に対する第1の画像を検出した後は、予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\beta$ を付加した状態で外観検査対象上の同一照明領域に対する第2の画像を検出し、検出された第1、第2の画像より求められた差画像を予め設定されている2種類のしきい値THa、THb各々によって2値化処理することによって第1、第2の2値差画像を作成し、作成された第1、第2の2値差画像を既知とされている正常傾斜領域部分を無視した上で、論理和合成することによって目的を達成するものである。

【0026】また本発明は、照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが抽出されるようにした外観検査方法であって、合成後の反射光を2分割した上、2分割された反射光各々に対し予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を同時に付加した状態で、外観検

査対象上の照明領域に対する第1、第2の画像を同時に検出した後は、第1、第2の画像より求められた差画像を予め設定されている2種類のしきい値THa、THb各々によって2値化処理することによって第1、第2の2値差画像を作成し、作成された第1、第2の2値差画像を既知とされている正常傾斜領域部分を無視した上で、論理和合成することによって目的を達成するものである。

【0027】また本発明は、照明光源からの、集光状態にある照明光から偏光子により抽出された直線偏光成分を、ハーフミラーを介し複像プリズムによって振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は上記複像プリズムによって合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが検光子で抽出されるようにした外観検査装置であって、外観検査対象を位置決め載置するステージと、偏光子・ハーフミラー間、あるいは複像プリズム・検光子間に介在配置され、偏光子からの直線偏光成分、あるいは複像プリズムからの合成後の反射光に対しオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を順次付加する位相差設定手段と、該位相差設定手段により順次設定される位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 各々に対応して、外観検査対象上の同一照明領域の画像を順次検出する画像検出手段と、該画像検出手段からの位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の画像を所定に画像処理することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する画像処理手段とを具備することを特徴とするものである。

【0028】また本発明は、照明光源からの、集光状態にある照明光から偏光子により抽出された直線偏光成分を、ハーフミラーを介し複像プリズムによって振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は上記複像プリズムによって合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが検光子で抽出されるようにした外観検査装置であって、外観検査対象を位置決め載置するステージと、複像プリズム・検光子間に介在配置され、複像プリズムからの合成後の反射光を2分割する反射光2分割手段と、2分割された反射光各々に対しオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を同時に付加する第1、第2の位相差設定手段と、該第1、第2の位相差設定手段各々からの反射光より干渉成分のみを抽出する、検光子としての第1、第2の干渉成分抽出手段と、該第1、第2の干渉成分抽出手段各々からの、位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の、外観検査対象上の同一照明領域の画像を同時検出する第1、第2の画像検出手段と、該第1、第2の画像検出手段らの位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の画像を所定に画像処理することによって、外観検査対象上の照明領

域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する画像処理手段とを具備することを特徴とするものである。

【0029】また本発明は、外観検査対象を磁気ヘッドにしたことの特徴とするものである。

【0030】また本発明は、磁気ヘッド製造ライン上の最終段階に、前記磁気ヘッド検査装置を具備したことの特徴とするものである。

【0031】また本発明は、照明光を偏光子により直線偏光とした後、複屈折プリズムにより偏光方向が互いに直行する2つの光線に分離し、該2つの光線に任意の位相差を与える手段を有する状態において、傾斜平面上の離れた2点を照らし、試料からの2本の反射光を複屈折プリズムにより合成した後、両偏光成分を検光子により干渉させた干渉強度を検出する手段を備えた顕微鏡において、傾斜平面で2本の反射光が生ずる位相差を、予め2本の照明光に位相の進みが逆となるように与えた状態で干渉強度を検出することを特徴とするものである。

【0032】また本発明は、照明光を偏光子により直線偏光とした後、複屈折プリズムにより偏光方向が互いに直行する2つの光線に分離し、該2つの光線に任意の位相差を与える手段を有する状態において、傾斜平面上の離れた2点を照らし、試料からの2本の反射光を複屈折プリズムにより合成した後、両偏光成分を検光子により干渉させた干渉強度を検出する手段を備えた顕微鏡において、傾斜平面で2本の反射光が生ずる位相差を、予め2本の照明光に位相の進みが逆となるように与えた状態でから、さらに $\pi/2$ なる位相差を2本の照明光に与えた状態で干渉強度を検出することを特徴とするものである。

【0033】また本発明は、上記第2の手段により検出した第1の画像と、傾斜平面で2本の反射光が生ずる位相差を、予め2本の照明光に位相の進みが逆となるように与えた状態から、さらに $-\pi/2$ なる位相差を2本の照明光に与えた状態で検出した第2の画像との差分を演算することを特徴とするものである。

【0034】また本発明は、上記第3の手段により検出された2枚の画像の平均値を演算することを特徴とするものである。

【0035】また本発明は、落射照明に使用するハーフミラーの照明光入射面と、上記第1の手段で述べた顕微鏡における複屈折プリズムの光学軸方向とを一致させることを特徴とするものである。

【0036】また本発明は、上記第5の手段により第1の画像を検出し、複屈折プリズムを光軸回りに90度回転した状態で第2の画像を検出し、両画像において通常の干渉強度以外の明るさを有する領域を抽出し、該領域を合成することを特徴とするものである。

【0037】

【作用】外観検査対象として、例えば薄膜磁気ヘッドに

その例を採れば、薄膜磁気ヘッド上には各種の欠陥が存在する可能性があることから、最終製造段階でそれら欠陥を検出する必要があるものとなっている。薄膜磁気ヘッドはセラミックウェハ上に多数の素子を形成し、これを切断加工することで製造される。加工の済んだ磁気ヘッドに対しリード線やアームを取り付け、特性検査を行い、装置内部に組み込むことで磁気ディスク装置が完成する。この加工、組立、検査工程中に磁気ヘッドに不要な外力が加えられると、欠けやボイド、ひびなどの欠陥が発生する。図2に欠陥の例を示す。欠け2はヘッド1のエッジの一部が割れて破片が消失したものであり、ボイド3はエッジ以外の平面部分が欠けたものあるいはセラミックを焼結する際にできた材料内部の空洞が切削等により表面に露出したものである。傷5は検査対象の表面が硬い物質と擦れることにより生じるものである。ひび欠陥4は欠けの破片がヘッド1の表面に対し傾斜した状態で残っているものである。小さな欠けやボイド、傷はヘッドの浮上特性に対しほとんど影響を与えないため、欠陥としての致命度は低い。しかし、ディスク装置

10 の使用中、磁気ヘッドはディスク面に対しわざわざ間隙を保って浮上するため、ヘッド1の表面よりも盛り上がっているひび欠陥4は大きさによらず致命的な欠陥となる。また、ひび欠陥が致命的である他の理由としては、ディスク装置の使用中に欠陥の破片が落下するとヘッドクラッシュの原因となることも挙げられる。

【0038】本発明は、これらの欠陥を確実に検出できるようにしたことがある。

【0039】まず、微分干渉顕微鏡の原理について説明する。図3(a)は微分干渉顕微鏡の基本構成である。

30 同図中で各光学部品に付した矢印は各部品の光軸方向あるいは偏光方向を示している。光源11を出た光はコンデンサレンズ12により集光され、偏光子13により直線偏光成分のみが取り出される。この直線偏光はハーフミラー15により反射されウォラストンプリズム16に入射する。ウォラストンプリズム16の光軸は直線偏光の偏向方向と45度の角度をなすように設定されている。(ウォラストンプリズムは複屈折プリズム2枚を、その光学軸が互いに直交するように貼りあわせたものであり、図18(a)では2本の光軸を示している。)このため、ウォラストンプリズム16を出た光は振動方向が互いに直交し進行方向が異なる2本の光線に分割される。そして、これらの光線は対物レンズ17により、シャー量と呼ばれる距離dだけ離れた平行光となって、試料50を照らす。試料50からの反射光は対物レンズ17を介してウォラストンプリズム16で再び合成される。試料50の傾斜角がθである場合、合成される反射光の間には、図3(b)に示すように $2 \cdot d \cdot \tan\theta$ の光路差が生じる。この光路差に応じて照明光に含まれる各波長毎の光が干渉しあい、最終的に傾斜角度に応じた

40 干渉色として観察される。しかし、ウォラストンプリズム50を用いた微分干渉顕微鏡では、この干渉色が顕微鏡の視野全体にわたって現れる。これは、ウォラストンプリズム16が2枚の屈折プリズムによって構成されるためである。この構成により、干渉色が顕微鏡の視野全体にわたって現れる。しかし、ウォラストンプリズム16を用いた微分干渉顕微鏡では、この干渉色が顕微鏡の視野全体にわたって現れる。これは、ウォラストンプリズム16が2枚の屈折プリズムによって構成されるためである。

ム16で合成された2つの光線は振動方向が互いに直行しているため、このままで干渉しない。そこで、検光子18により干渉する成分のみを取り出すことで、干渉色が観察できる。

【0040】以上説明したように、微分干渉顕微鏡は、試料上でわずかに離れた2点からの反射光を干渉させることにより、試料の傾斜角の違いを干渉色の違いとして検出するものである。すなわち、試料の傾斜角が大きいと2点からの反射光の光路差が大きくなり、傾斜角が小さいと光路差も小さくなる。この光路差の違いにより、干渉する光の波長が異なり、異なる干渉色が観察される。このため、正常部分に比べわずかな傾斜を有しているひび欠陥はその全体が正常部分とは異なった干渉色として検出することができる。そこで、被検査対象を微分干渉顕微鏡を用いて画像検出器で検出し、得られた画像の値を、正常部分として許容すべき値（予め設定した値あるいは該検出した画像から演算して求めた値）と比較するか、または正常傾斜部分の位置が既知である場合には検出された傾斜部分より正常傾斜部分を無視することによりひび欠陥のみを確実に検出することができる。

【0041】また、微分干渉顕微鏡の照明光学系内部にある偏光子に対し、光軸上で対物レンズに近い側に四分の一波長板を挿入し、前記偏光子の偏向方向が前記四分の一波長板の光軸方向に対し予め設定した値 $\alpha$ となるよう設定すると、ウォラストンプリズムにより分離される2つの光線に対し位相差 $\phi\alpha$ をオフセットとして与えることができる。同様に前記偏光子の偏向方向が四分の一波長板の光軸方向に対し予め設定した値 $\beta$ （例えば $\beta = -\alpha$ ）となるよう設定すると、2つの光線に対する位相差のオフセットを $-\phi\alpha$ とすることができる。これに対し、ひび欠陥部分での照明光の反射により生じる2つの光線間の位相差は、オフセットとは無関係に一定で $\phi\theta$ （ $= 2 \cdot d \cdot \tan\theta / \lambda$ ：但し $d$ は照明光の波長）で与えられる。このため、被検査対象の検査表面（正常部分）が顕微鏡対物レンズの光軸に対し垂直（ $\theta = 0$ ）であれば、偏光子と四分の一波長板とのなす角を $\alpha$ 及び $\beta = -\alpha$ となるよう設定して各々の状態で画像を検出\*

$$S_1 = R_1 \exp [ j(\omega t + \phi_1) ]$$

$$S_2 = R_2 \exp [ j(\omega t + \phi_1 + \phi p) ] \quad \dots \text{ (数1)}$$

ただし、 $R_1$ と $R_2$ は各反射光の振幅、 $\phi_1$ と $\phi_p$ は各反射光の位相、 $\phi p$ は偏光子を回転することにより与えられる位相差、 $\omega$ は照明光の振動数、 $j$ は虚数単位を表す。

【0046】試料上の2点からの反射光は、図4(b)※

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = 4\pi d \cdot \tan\theta / \lambda$$

\* すると、2枚の画像において正常部分は同じ大きさ（方向は逆）の位相差 $\pm\phi\alpha$ を持ち、ひび欠陥部分は異なる大きさの位相差（ $\phi\theta + \phi\alpha$ および $\phi\theta - \phi\alpha$ ）を持った光線がお互いに干渉する。このため、2枚の画像内で正常部分は同一の明るさでありながら、一方の画像ではひび欠陥の不分が正常部より明るく、他方の画像では逆にひび欠陥部分の方が正常部より暗く検出される。そこで、得られた2枚の画像を比較することで、明るさの差が大きい部分をひび欠陥として容易に検出することができる。

【0042】また、微分干渉顕微鏡の検出光学系内部に存在する検光子の前（光軸上で対物レンズに近い側）に四分の一波長板を挿入し、この四分の一波長板の光軸方向が前記検光子の偏光方向に対し、予め設定した角度 $\alpha$ 及び $\beta$ （ $= -\alpha$ ）となるよう設定した状態で各々被検査対象の第1及び第2の画像を検出することによっても、前述した偏光子の角度を変える場合と同様の効果が得られ、容易にひび欠陥を検出することができる。

【0043】微分干渉顕微鏡で検出できる傾斜は一方向のみに限定されているため、被検査対象の表面を顕微鏡対物レンズの光軸の回りに回転可能とすることで、様々な方向に対して傾斜している微小なひび欠陥を、安定に検出することが可能となる。

【0044】また、微分干渉顕微鏡の原理を図4を用いて説明する。偏光子13と1/4波長板14を通過した照明光は、複屈折プリズム16により偏光方向が互いに直行する2つの照明光に分岐される。ここで、偏光子13を回転させることにより、回転角度に応じた任意の位相差を分岐した2つの照明光に与えることが可能である。更に、この分岐位置を対物レンズ17の像側焦点面に一致させることにより、2つの照明光は試料50上の分離量 $d$ だけ離れた2点を照明する。ここで、照明光の分離方向に試料が傾斜している場合、2つの反射光には、試料傾斜に応じた位相差生じるため、両反射光 $S_1, S_2$ は次式により表される。

【0045】

【数1】

$$\dots \text{ (数1)}$$

40※に示すような位相差 $\Delta\phi$ を生ずる。これは、次式により与えられる。

【0047】

【数2】

$$\dots \text{ (数2)}$$

★軸を有する検光子18を通過させることにより、両反射光の干渉強度 $I$ が検出され、これは次式により表される。

【0049】

【数3】

$$\dots \text{ (数3)}$$

$$I = 1/2 (R_1^2 + R_2^2) - R_1 R_2 \cos (\Delta\phi + \phi p) \quad \dots \text{ (数3)}$$

ただし、 $d$ は照明光の分離量、 $\theta$ は試料の傾斜角度、 $\lambda$ は照明光の波長を表す。

【0048】上記反射光は対物レンズ17を通過後、複屈折プリズム16の分岐位置から再び同一光路を進む。

そして両反射光の偏光方向に対して45度の方向に偏光★

17

偏光子13により与えられる位相差 $\phi_p$ が0の場合、試料傾斜に対する干渉強度変化は、試料傾斜 $\theta$ により与えられる位相差 $\Delta\phi$ が0である水平な領域を最も暗く、傾斜して位相差が増すにつれて干渉強度を大として検出することができる。しかし、水平面付近での干渉強度の変\*

$$I = 1/2 (R_1^2 + R_2^2) - R_1 R_2 \sin(\Delta\phi) \quad \dots \text{ (数4)}$$

この結果、水平面での干渉強度変化率が最大となるため、水平面からの相対的な傾斜感度を最大とすることができる。

【0051】このように、微分干渉顕微鏡では、試料の傾斜角度により変化する干渉強度を観察するため、試料を立体的に観察できるという特徴がある。この干渉強度は、(数3)からわかるように、偏光子を回転させて与える位相差 $\phi_p$ により干渉条件が制御可能であると共に、試料表面の反射率に依存する振幅 $R_1$ と $R_2$ によっても変化することがわかる。つまり、観察する試料表面が反射率の異なる材質から構成されている場合、検出された干渉強度の変化が、試料表面の傾斜によるものなの＊

$$\begin{aligned} \Delta I &= [1/2 (R_1^2 + R_2^2) - R_1 R_2 \cos(\Delta\phi + \pi/2)] \\ &\quad - [1/2 (R_1^2 + R_2^2) - R_1 R_2 \cos(\Delta\phi + 3\pi/2)] \\ &= 2 R_1 R_2 \sin(\Delta\phi) \end{aligned}$$

同方式によると、水平面では反射率によらず明るさが常に0であり、傾斜した領域では通常の干渉強度の2倍の明るさが変化するため、水平面内に存在する傾斜領域を反射率の違いに影響されることなく高い感度で検出することが可能である。

【0053】本発明によれば、前記構成により、複屈折プリズムで分離された2本の照明光は、傾斜平面で反射することにより(数2)に示す位相差 $\Delta\phi$ を生ずることになるが、予め位相の進みが逆となるように同一の位相差 $-\Delta\phi$ を付与することにより、該2本の反射光の位相差は0となり、水平面で反射した状態に一致させることができる。

【0054】また本発明によれば、更に2本の照明光の間に $\pi/2$ の位相差を付与することにより、水平面を $\pi/2$ のみの位相差を有する2本の照明光で照明することと等価となり、傾斜平面を数4に示す干渉条件と同等の条件で検出することができる。

【0055】また本発明によれば、第1と第2の画像において、傾斜平面の明るさを反射率の違う領域ごとに一致させて検出することが可能である。しかし、傾斜平面から相対的に傾斜した領域では、第1と第2の画像の傾斜平面の明るさとの大小関係を反転させて検出することができる。両画像の差分を演算することにより、傾斜平面の明るさは反射率の違いによらず常に0となるが、相対的に傾斜した領域の明るさは両画面の差分値を有するため、相対的に傾斜した領域のみ明るさを有する画像が実現できる。

【0056】また本発明によれば、傾斜平面から相対的に傾斜した領域では干渉強度変化が相殺される。つま

\*化率が小さいため傾斜角度に対する感度が鈍い。一方、偏光子13を回転させることにより $\phi_p$ を $\pi/2$ とするとき、干渉強度Iは次式となる。

【0050】

【数4】

※か、反射率の違いによるもののかが判別できない場合が生ずる。このため、試料の反射率の違いに影響されることなく、表面傾斜の干渉強度変化のみを検出するため

10 偏光子を回転することにより、 $\pi/2$ と $3\pi/2$ の位相差を与えたそれぞれの状態で干渉強度を検出し、両者の差分を演算することにより、次式により与えられる強度変化を得る方法が、アプライドオプティクス、29巻、26号(1990年)第3769頁から3774頁(Applied Optics, Vol.29, No.26(1990)pp3769-3774)に記載されている。

【0052】

【数5】

り、得られた画像は試料の反射率にのみ依存した強度分布となるため、通常の落射照明により検出される画像と同等のものとなる。

【0057】また本発明によれば、複屈折プリズムにより分離された光線は互いに直交する偏光方向を有するため、ハーフミラーに対するp偏光方向とs偏光方向に一致させれば、各偏光成分はハーフミラーのp, s各偏光方向と一致した状態で反射および透過する。ハーフミラーの反射及び透過率はp, s各偏光方向に依存するため、各偏光成分に寄与するハーフミラーの影響を独立とすることができる。

【0058】微分干渉顕微鏡では照明光を分離する方向の傾斜に対する干渉強度変化が最大となる一方、これと直交する方向の傾斜に対しては干渉強度が変化しない。また、照明光の分離方向は、複屈折プリズムの光学軸方向に依存する。上記第5の手段によれば、第1および第2の画像により得られる干渉強度変化は、直交する方向の傾斜角度に起因するものとなる。つまり、両者を合成すれば、全方向の傾斜角度に対して干渉強度変化を検出することが可能となる。

【0059】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に従い説明する。図5は本発明による欠陥検出装置の一実施例の構成図で、破線で囲んだ部分が微分干渉顕微鏡25である。本実施例を含め以下に説明する実施例では説明の便宜上、試料の正常部分の表面が対物レンズ17の光軸に対し常に垂直となるように、ステージ30を制御可能であるとする。光源11を出た光はコンデンサレンズ12により集光され、偏光子13により直線偏光成分のみが取

19

り出される。この直線偏光はハーフミラー15により反射されウォラストンプリズム16に入射する。ウォラストンプリズム16の光軸は直線偏光の偏向方向と45度の角度をなすように設定されている。このため、ウォラストンプリズム16を出た光は振動方向が互いに直交し進行方向が異なる2本の光線に分割される。そして、これらの光線は対物レンズ17により、シャー量dだけ離れた平行光となって、ステージ30上に載置されている試料（例えば磁気ヘッド1）を照明する。試料からの反射光は対物レンズ17を介してウォラストンプリズム16で再び合成される。合成された光はハーフミラー15及び検光子18を介してTVカメラ19で検出される。検出した画像は画像処理部20に入力される。

【0060】図6は、図5の実施例における各光学部品の光軸及び偏光方向と、各部品による偏光状態の変化を示している。光学部品のうち偏光状態に影響を与えないものは、その存在場所だけを矢印で示している。同図(a)は偏光子13から試料の表面までの照明系の状態を示し、同図(b)(c)は、試料表面での反射から検光子18の出力までを示している。特に、(b)は試料の表面が光軸に対し傾斜していない場合を、(c)は傾斜している場合を示している。同図(b)に示すように、試料に傾斜がない場合は、ウォラストンプリズム16で合成された光は検光子18の偏光方向と直交する直線偏光となるため、検光子18からは出力が得られない。これに対し、試料に傾斜が存在する場合は、試料からの2つの反射光に位相差が生じるため、ウォラストンプリズム16で合成された光は梢円偏光となり、検光子18から出力が得られる。

【0061】図7に、図5の実施例により得られる画像を示す。同図(a)は通常の明視野照明による磁気ヘッド1の画像の一部である。4aはひび欠陥の亀裂部分、2は欠けである。同図(b)(c)はそれぞれ、ひび欠陥及び欠けの断面図である。欠けの部分は光を散乱するため、通常の照明では暗く見える。しかし、ひび欠陥は傾斜角度が小さいため、正常部分と区別することはほとんど不可能である。これに対し図5の実施例により得られる画像(d)では傾斜のない正常部分及び欠けの部分はともに暗く検出され、傾斜のあるひび欠陥4の部分だけが明るく検出される。

【0062】図8に画像処理部20の構成例を示す。同図(a)は検出した画像と、正常部の値として予め設定した値を比較する方法であり、図7(d)に示す画像に対して適用すると、正常部分に比べて明るく検出されているひび欠陥部分のみを検出することが可能である。同図(b)は試料を載置しているステージ30が試料表面を光軸に対して垂直となるように制御できないために試料表面全体が光軸に対し傾斜している場合などに有効な構成である。検出した画像をヒストグラム演算部203を介して最頻度値演算部204に入力することで、検出

10

画像中の最も頻度の多い明るさすなわち試料の正常部分の明るさを算出する。算出した正常部の値とメモリ202に記憶しておいた検出画像を差分回路205に入力し、差の絶対値を演算する。演算した結果を予め設定した値と比較して2値化することで、正常部分の明るさから大きく異なる部分を欠陥として検出する。本実施例では、欠陥部分の明るさと正常部分の明るさの差の許容幅は、2値化回路201に与えるしきい値により変更することができる。図8(c)は、図10以降の実施例において特に有効な構成であり、説明は後述する。

【0063】図9は図5の実施例における試料の傾斜角度とTVカメラ19の出力信号強度との関係の一例を示したものである。試料の傾斜が大きくなるに従い、出力信号強度も大きくなる。しかし、傾斜角度が0度付近では出力信号があまり変化しない。このため、傾斜角度の小さなひびに対する検出感度が低いことがわかる。

【0064】図10は傾斜角度の小さなひびに対する検出感度の向上を目的とした、本発明による欠陥検出装置の他の実施例の構成図である。図5と異なる点は照明光学系の偏光子の後に四分の一波長板14が挿入されている点である。偏光子13は光軸の回りに回転可能な構成となっている。

【0065】図11、図12は、図10の実施例における各光学部品の光軸及び偏光方向と、各部品による偏光状態の変化を示している。図6と同様に、光学部品のうち偏光状態に影響を与えないものは、その存在場所だけを矢印で示している。図11は偏光子13の偏光方向が四分の一波長板14の光軸に対し角度 $\alpha$ （本図では $\alpha=45$ 度）である場合を、図12は角度 $\beta$ （本図では $\beta=-45$ 度）である場合を示している。両図とも(a)は偏光子13から試料の表面までの照明系の状態を示し、(b)(c)図は、試料表面での反射から検光子18の出力までを示している。図2と同様、(b)は試料の表面が光軸に対し傾斜していない場合を、(c)は傾斜している場合を示している。図11、図12の(a)図に示すように偏光子13と四分の一波長板14の光軸が45度の関係にあると、四分の一波長板14の出力は円偏光となり、試料に入射する2本の光線には四分の一波長の位相差が生じる。両図の(b)図に示すように、試料に傾斜がない場合は、ウォラストンプリズム16で合成された反射光は再び円偏光となるため、検光子18からは円偏光の直径に対応した振幅の出力が得られる。

これに対し、試料に傾斜が存在する場合は、2つの反射光の位相差が変化するため、ウォラストンプリズム16で合成される光は梢円偏光となる。図11の例では検光子18の偏光方向を長径とする梢円偏光となるため、検光子18からの出力は正常部分よりも大きくなる。逆に、図12の例では検光子18の偏光方向と直交する方向を長径とする梢円偏光となるため、検光子18からの出力は正常部分よりも小さくなる。

50

21

【0066】図13に、図10の実施例により得られる画像を示す。同図(a)乃至(c)は図3(a)乃至(c)と同一である。同図(d)は偏光子13の偏光方向が四分の一波長板14の光軸に対し45度である場合(図11に対応)の検出画像を、同図(e)は角度が-45度である場合(図12に対応)の検出画像を示している。両図から分かるように、正常部分は同じ明るさでありながら、ひび欠陥部分(d)図では正常部より明るく、(e)図では正常部より暗く検出されている。また、欠けの部分はどちらの画像でも暗く検出されている。このため、両画像の差の絶対値を演算して得られる画像(f)では、ひび欠陥4の部分だけが明るく顕在化され、正常部分及び欠け2の部分はどちらも暗くなる。本実施例における画像処理部20の構成例としては、図8(c)に示したもののが有効である。すなわち、偏光子13の偏光方向を四分の一波長板14の光軸に対し $\alpha = 45$ 度に設定し、検出した画像をメモリ202に記憶する。次いで偏光子13を光軸回りに回転して角度を $\beta = -45$ 度に設定する。この状態で検出した画像と先にメモリ202に記憶しておいた画像とを比較のために差分回路205に入力し、差の絶対値を演算する。得られた結果を予め設定したしきい値で2値化することにより、ひび欠陥のみが検出できる。

【0067】図14は偏光子13の偏光方向と四分の一波長板14の光軸方向のなす角度 $\alpha$ をパラメータとして、試料の傾斜角度とTVカメラで検出される信号強度との関係を一例として示したものである。図においては角度 $\alpha$ が $\pm 45$ 度の時に、傾斜角度が0度付近における出力信号強度の変化が最も大きくなり、傾斜角度の小さなひび欠陥の検出感度が最高となる。図10の実施例では角度 $\alpha = 45$ 度と-45度での検出画像の差を演算するため、感度は更に2倍になる。(但し、実際の顕微鏡においてはハーフミラー15の偏光特性などにより、検出感度が最高となる角度は必ずしも45度とはならない。)図10に示した実施例によれば、試料表面に反射率の異なる部分が存在していても、正常部分(傾斜が0度である部分)であれば、2枚の画像の比較処理により相殺することができるため、反射率の異なる部分を誤検出することなくひび欠陥のみを検出することができる。また、欠けやボイドのように照明光が正反射しない欠陥についても、2枚の画像の比較処理により検出信号強度を相殺することができるため、ひび欠陥の検出に影響を与えることはない。しみや異物についても同様である。但し、図10の実施例においても、図8(b)に示した画像処理部20の構成を用いることができる。すなわち、微小なひび欠陥の検出感度が高くなるように四分の一波長板を設定した状態で画像を検出し、検出した画像のうち最も頻度の多い値を試料の正常部分の値として算出し、この値と検出画像を比較することによりひび欠陥を検出することができる。

22

【0068】図15は本発明による欠陥検出装置の更に他の実施例の構成図である。図6と異なる点は、照明光学系ではなく検出光学系の検光子18の前(対物レンズに近い側)に四分の一波長板14が挿入されている点である。検光子18に対する四分の一波長板14の光軸方向は任意に設定できる構成となっている。本実施例によれば、試料からの干渉すべき2本の反射光線に対し、四分の一波長板14によりオフセットとしての位相差を与えることができるため、図10の実施例と同様の効果が得られる。

【0069】図16、図17は、図15の実施例における各光学部品の光軸及び偏光方向と、各部品による偏光状態の変化を示している。図16は四分の一波長板14の光軸が検光子18の偏光方向に対し角度 $\alpha$ (本図では $\alpha = 45$ 度)である場合を、図17は角度が $\beta$ (本図では $\beta = -45$ 度)である場合を示している。両図とも、偏光子13から試料の表面までの照明系の状態は、図6(a)と同様であるため省略しており、試料表面での反射から検光子18の出力までのみを示している。図16、図17とも図(a)は試料の表面が光軸に対し傾斜していない場合を、図(b)は傾斜している場合を示している。両図の(a)図に示すように、試料に傾斜がない場合は、ウォラストンプリズム16で合成された反射光は検光子18の偏光方向に直交する直線偏光となり、四分の一波長板14で円偏光となるため、検光子18からは円偏光の直径に対応した振幅の出力が得られる。これに対し、試料に傾斜が存在する場合は、試料からの2つの反射光に位相差が生じるため、ウォラストンプリズム16で合成される光は直線偏光ではなく楕円偏光となる。図16の例ではこの楕円偏光が四分の一波長板14により、検光子18の偏光方向を長径とする楕円偏光に変化するため、検光子18からの出力は正常部分よりも大きくなる。逆に、図17の例では検光子18の偏光方向と直交する方向を長径とする楕円偏光に変化するため、検光子18からの出力は正常部分よりも小さくなる。

【0070】すなわち図15に示した実施例によれば、検光子18の偏光方向と四分の一波長板14の光軸方向のなす角を $\alpha$ に設定して第1の画像を撮像した後、角度 $\alpha$ を $\beta (= -\alpha)$ に変更して第2の画像を撮像し、得られた2枚の画像を比較することで、明るさの異なる部分をひび欠陥として検出することができる。本実施例においては $\alpha = 45$ 度、 $\beta = -45$ 度の場合に最も検出感度が高くなる。

【0071】図18は本発明による欠陥検出装置の更に他の実施例の構成図である。図15の実施例においては、四分の一波長板の光軸方向を変更しながら順次画像を撮像する必要があった。本実施例では、2枚の画像を同時に撮像するために、検出光学系の光路をハーフミラー15bで2つに分割し、各々の光路に四分の一波長板

14a, 14bと検光子18a, 18bおよびTVカメラ19a, 19bを備えている、一方の光路では、検光子の偏光方向と四分の一波長板の光軸方向のなす角を $\beta$ に設定しており、他方の光路ではこれを $\beta$ に設定している。本実施例によれば、第1の画像と第2の画像が同時に撮像できるため、検査時間を短縮することができる。また、図8(c)に示した画像処理部20において、メモリ202を省略することができる。

【0072】以上説明した図10、図15、図18の各実施例においておいて、ステージ30が水平面に対する試料の傾斜角度を任意に制御できない場合（正常部の傾斜角度が0度でない場合）でも、角度 $\alpha$ 及び $\beta$ を適切に設定することで正常部の明るさを同じにし、ひび欠陥のみを顕在化する同様の効果を得ることができる。

【0073】また、微分干渉顕微鏡では検出できる傾斜が原理的に一方的に限定されているため、ステージ30により被検査対象の表面が顕微鏡対物レンズの光軸の回りに回転するようにしておおくと、様々な方向に対して傾斜している微小なひび欠陥を安定に検出することが可能となる。

【0074】図19は本発明を利用した磁気ヘッドの自動外観検査装置の構成図である。画像検出部は図14に示した実施例を用いており、同一部品には同一の番号を付している。以下に検査の流れを示す。被検査対象である磁気ヘッド1はバレット42aにて供給される。搬送部41はコントローラ40からの制御信号401に従いバレット42aから磁気ヘッド1を取り出し、検査ステージ上に搬送する。検査ステージは回転ステージ301、傾斜ステージ302及びXYZステージ303よりなっている。ステージ上に載せられた磁気ヘッド1の表面を対物レンズ17の光軸に対し垂直となるように制御するため、まず非接触変位計43により磁気ヘッド1の表面の高さを数点計測する。高さの計測は、制御信号401によりXYZステージを予め定められた座標に移動しながら、非接触変位計43の出力をコントローラ40に取り込むことで行う。次に、取り込まれたデータをもとに磁気ヘッド1の表面の傾きを演算し、その結果に従いコントローラ40から制御信号401により傾斜ステージ302を駆動し、磁気ヘッド1の表面を対物レンズ17の光軸に対し垂直にする。XYZステージを駆動して磁気ヘッド1を対物レンズ17の視野へ移動した後、TVカメラ19a, 19bにより検査に必要な第1の画像及び第2の画像を撮像する。撮像した画像をA/D変換器209a, 209bを経由してデジタル信号に変換した後、差分回路205により2枚の画像の差を絶対値を演算する。差分回路の出力は、正常部分に対して傾斜を有したひび欠陥部分だけが明るく、他の正常な部分は暗い画像となる。この画像を2値化回路201により2値化することで欠陥信号210が得られる。2値化回路201におけるしきい値はコントローラ40から信号2

07により与えられる。前述したように微分干渉顕微鏡で検出できる試料の傾斜方向は1方向だけであるため、回転ステージ301を適宜回転することにより、種々の方向に対して傾斜しているすべてのひび欠陥を検査することができる。検査が終了するとコントローラ40は搬送部41に制御信号401を送り、検査済みの磁気ヘッド1をバレット42bまたはバレット42cに移動させる。バレット42bとバレット42cの選択は、欠陥信号210に従うものである。すなわち被検査磁気ヘッド1にひび欠陥が存在した場合はバレット42cが選択され、欠陥を含まない良品であった場合はバレット42bが選択される。以上説明したように、図15に示した磁気ヘッドの自動外観検査装置によれば、バレットで供給した磁気ヘッドの外観を自動的に検査し、良品、不良品を選別してそれぞれ別のバレットに格納することができる。

【0075】以下、本発明の他の実施例を図20から図31により説明する。

【0076】先ず本発明を具体的に説明する前に、本発明に係る微分干渉顕微鏡の原理と本発明の原理について説明しておく。先ず微分干渉顕微鏡の原理について説明すれば、図3(A)はその微分干渉顕微鏡の基本構成を示したものである。図中、光学部品各々に付されている矢印はその部品での光軸方向、あるいは偏光方向を示している。これによる場合、照明光源11からの照明光はコンデンサレンズ12で集光された上、偏光子13により直線偏光成分のみが抽出されるものとなっている。偏光子13からの直線偏光はその後、ハーフミラー15で反射された上、複像プリズムとしてのウォラストンプリズム16に入射されるものとなっている。なお、ここにいうウォラストンプリズムとは、複屈折プリズム2枚がその光学軸が互いに直交すべく貼り合せたものとして構成されており、図3(a)にはその2本つの光軸が図示されたものとなっている。さて、ウォラストンプリズム16での光軸は直線偏光の偏向方向と45°の角度をなすべく設定されていることから、ウォラストンプリズム16から出射される光は振動方向が互いに直交し、しかも進行方向が異なる2本の光線に分割されているが、それら2本の光線は対物レンズ17によって、シャー量と称される距離d分だけ離れた平行光として外観検査対象50上を照らすものとなっている。一方、外観検査対象50上からの反射光は対物レンズ17を介しウォラストンプリズム16で再び合成されるが、外観検査対象50の傾斜角がθである場合、図3(B)に示すように、合成される反射光の間には示すように $2 \cdot d \cdot \tan \theta$ の光路差を生じるものとなっている。その光路差に応じて照明光に含まれる各波長の光が干渉し合い、最終的にはその傾斜角度θに応じた干渉色の像として、外観検査対象50は観察されるものである。しかし、ウォラストンプリズム16で合成された2つの光線は振動方向が

互いに直交しているので、このままでは干渉しない。そこで、ハーフミラー15を介し検光子18により干渉する成分のみを取り出すことで、干渉色が観察され得るものである。

【0077】次に、本発明の原理について説明すれば、微分干渉顕微鏡の照明光学系内部にある偏光子13に対し、光軸上で対物レンズ17に近い側(図3(A)での矢印Aの位置)に1/4波長板を挿入し、偏光子13の偏向方向のその1/4波長板の光軸方向に対する角度が予め設定された角度 $\alpha$ となるように設定した場合には、ウォラストンプリズム16により分離される2つの光線に対し位相差 $\phi\alpha$ をオフセットとして与えることが可能となっている。同様に、偏光子13の偏向方向の1/4波長板の光軸方向に対する角度が予め設定された角度 $\beta$ (例えば $\beta = -\alpha$ )となるべく設定された場合は、ウォラストンプリズム16により分離される2つの光線に対し位相差 $\phi\beta$ ( $= -\phi\alpha$ )をオフセットとして与えることが可能となっている。これに対し、ひび欠陥部分での照明光の反射により生じる2つの光線間の位相差は、オフセットとは無関係に一定で、 $\phi\theta (= 2 \cdot d \cdot \tan\theta \cdot 1/\lambda)$ :但し、 $\lambda$ は照明光の波長)として与えられるものとなっている。このため、外観検査対象50上の被検査表面(正常平坦部分)が対物レンズ17の光軸に対し垂直( $\theta = 0^\circ$ )であるとして、偏光子13の偏光方向と1/4波長板の光軸方向とのなす角度が $\alpha$ 、 $\beta (= -\alpha)$ となるべく順次設定した上、設定角度 $\alpha$ 、 $\beta$ 各々での状態で画像を検出すれば、2枚の画像において正常平坦部分では同じ大きさ(方向は逆)の位相差 $\pm\alpha$ を持った光線が相互に干渉する一方では、ひび欠陥部分では異なる大きさの位相差 $\phi\theta + \phi\alpha$ 、 $\phi\theta - \phi\alpha$ を持った光線が相互に干渉するというものである。この結果、2枚の画像内で正常平坦部分は同一の明るさでありながら、一方の画像ではひび欠陥部分が正常平坦部分より明るく、他方の画像では逆にひび欠陥部分が正常平坦部分より暗く検出されることになる。そこで、得られた2枚の画像の差画像を演算すると、差画像では正常平坦部分では値が“0”となるが、ある方向(例えば右上がり)の傾斜部分は正の値、逆方向(右下がり)の傾斜部分は負の値として得られることになる。したがって、その差画像に対し予め設定されたしきい値THa(>0)を超える値を持つ部分を論理“1”とする2値化処理を行えば、右上がりの傾斜を有する部分のみを検出することが可能となるものである。これと同様にして、予め設定されたしきい値THb(<0)より小さい値を持つ部分を論理“1”とする2値化処理を行えば、右下がりの傾斜を有する部分のみを検出することが可能となるものである。結局、2値化処理後の画像を論理和によって合成することで、右上がりおよび左下がりの傾斜を有する部分が検出され得るものである。外観検査対象上に本来何等傾斜部分が存在しないとすれば、検出された傾斜部分を

以て即ひび欠陥であると判断し得るわけであるが。外観検査対象上に本来的に傾斜部分が存在している場合は、その傾斜部分の位置は既知とされていることから、その傾斜部分以外の位置に傾斜部分が存在していることを以て、ひび欠陥の存在とその位置が知れるものである。外観検査対象としての磁気ヘッドには、既述のように、面取加工されたエッジ部分がその位置既知なものとして存在しているが、論理和合成後の画像中に含まれている傾斜部分の分布形状を調べることによって、面取加工エッジ部分とは区別された状態で、ひび欠陥による傾斜部分のみを検出し得るものである。

【0078】さて、本発明を具体的に説明すれば、図20は本発明による磁気ヘッド検査装置(あるいは外観検査装置)の一例での概要構成を示したものである。これによる場合、破線で囲まれた部分は1/4波長板14を含む微分干渉顕微鏡25として構成されたものとなっている。したがって、本発明による磁気ヘッド検査装置は、その微分干渉顕微鏡25に、微分干渉顕微鏡25によって観察される画像を検出されるTVカメラ19と、TVカメラ19で検出された画像を所定に処理する画像処理部20とが付加される形で構成されたものとなっている。なお、本例では、外観検査対象としての磁気ヘッド1での正常平坦部分の表面は対物レンズ17の光軸に対し常時垂直となるべく、磁気ヘッド1の位置とその姿勢状態はステージ30によって制御可能となっている。

【0079】ここで、その動作について説明すれば、光軸回りに回転可とされている偏光子13の偏向方向は1/4波長板14の光軸方向に対し予め設定された角度 $\alpha$ (本例では45°を想定)、 $\beta$ (本例では-45°を想定)となるように順次設定されるが、角度 $\alpha$ (本例では45°を想定)、 $\beta$ 各々に設定された状態での磁気ヘッド1に対する画像がTVカメラ19で検出された上、検出された画像は画像処理部20内で所定に画像処理されることで、磁気ヘッド1上に存在しているひび欠陥が検出されるものとなっている。

【0080】即ち、より詳細に説明すれば、先ず偏光子13の偏向方向は1/4波長板14の光軸方向に対し角度 $\alpha$ に設定されるものとなっている。この状態で、照明光源11からの照明光はコンデンサレンズ12で集光された上、偏光子13により直線偏光成分のみが抽出されるものとなっている。偏光子13からの直線偏光はその後、1/4波長板14を介しハーフミラー15で反射された上、ウォラストンプリズム16に入射されるようになっている。ウォラストンプリズム16から出射される光は振動方向が互いに直交し、しかも進行方向が異なる2本の光線に分割されているが、それら2本の光線は対物レンズ17によってシャー量と称される距離d分だけ離れた平行光として磁気ヘッド1上を照明するものとなっている。一方、磁気ヘッド1からの反射光は対物レンズ17を介してウォラストンプリズム16で再び合成さ

れた上、ハーフミラー 15、検光子 18 を介し TV カメラ 19 で検出されるが、検出された画像は画像処理部 20 内に一旦蓄積されるものとなっている。この後は、偏光子 13 の偏向方向は  $1/4$  波長板 14 の光軸方向に対し角度  $\alpha$  に設定された状態で、磁気ヘッド 1 に対する画像が同様にして TV カメラ 19 により検出されるわけであるが、画像処理部 20 では TV カメラ 19 からのその検出画像は、既に一旦蓄積されている画像との間で所定に画像処理が行われることによって、磁気ヘッド 1 上に存在しているひび欠陥が検出されるものである。

【0081】以上のように、偏光子 13 の偏向方向は  $1/4$  波長板 14 の光軸方向に対し予め設定された角度  $\alpha$ 、 $\beta$  となるように順次設定されるが、図 21、図 22 は図 20 での光学部品各々における光軸方向および偏光方向と、それら光学部品各々による偏光状態の変化を示したものである。各種光学部品のうち、偏光状態に影響を与えないものについては、単にその存在位置だけが矢印で示されたものとなっている。図 21 には偏光子 13 の偏光方向が  $1/4$  波長板 14 の光軸に対し角度  $\alpha$  ( $\alpha = 45^\circ$ ) に設定されている場合での偏光状態の変化が、また、図 22 にはその角度が  $\beta$  ( $\beta = -45^\circ$ ) に設定されている場合で偏光状態の変化が示されているわけである。両図とも (A) には偏光子 13 から試料

(磁気ヘッド 1) 表面までの照明系での偏光状態の変化が、また、(B)、(C) にはともに試料表面からの反射光の検光子 18 までの偏光状態の変化が示されているが、特に (B) には試料の表面が光軸に対し傾斜していない場合が、また、(C) には試料の表面が光軸に対し傾斜している場合が示されたものとなっている。さて、図 21 (A)、図 22 (A) からも判るように、偏光子 13 の偏光方向と  $1/4$  波長板 14 の光軸とのなす角度が  $\pm 45^\circ$  の関係にある場合には、 $1/4$  波長板 14 からの光は円偏光となり、試料に入射する 2 本の光線には  $1/4$  波長分の位相差が生じるものとなっている、また、図 21 (B)、図 22 (B) からも判るように、試料上に傾斜部分が存在していない場合は、ウォラストンプリズム 16 で合成された反射光は再び円偏光となることから、検光子 18 からはその円偏光の直径に対応した振幅の光出力が得られるようになっている。これに対し、試料上に傾斜部分が存在している場合には、図 21 (C)、図 22 (C) からも判るように、2 つの反射光の位相差が変化していることから、ウォラストンプリズム 16 で合成された反射光は梢円偏光となっている。特に偏光子 13 の偏光方向が  $1/4$  波長板 14 の光軸に対し角度  $\alpha$  ( $\alpha = 45^\circ$ ) に設定されている場合は、図 21 (C) からも判るように、検光子 18 の偏光方向を長径とする梢円偏光となるため、検光子 18 からの光出力は図 21 (B) でのそれに比し、大きなものとして得られるようになっている。これとは逆に、その角度が  $\beta$  ( $\beta = -45^\circ$ ) に設定されている場合には、図 22

(C) からも判るように、検光子 18 の偏光方向と直交する方向を長径とする梢円偏光となるため、検光子 18 からの光出力は図 22 (B) でのそれに比し、小さなものとして得られるようになっている。

【0082】以上のようにして、磁気ヘッド上の被検査領域に対する画像が検出されるが、ここで、ひび欠陥検出原理についてより詳細に説明すれば以下のようである。即ち、図 23 には図 20 に示す磁気ヘッド検査装置で得られる各種画像を示されたものとなっている。このうち、図 23 (A) は通常の明視野照明下での磁気ヘッド 1 上の被検査領域に対する画像を示したものである。図示のように、画像中には被検査領域でのひび欠陥の亀裂対応部分 4a、欠け対応部分 2a が存在しているが、これからも判るように、欠け対応部分 2a では照明光が散乱されていることから、通常の明視野照明下では暗く検出されるものとなっている。しかし、ひび欠陥はその傾斜角度が小さいため、正常平坦部分とは区別することは殆ど不可能となっている。これに対し、図 23 (B) には偏光子 13 の偏光方向が  $1/4$  波長板 14 の光軸方向に対する角度が  $45^\circ$  である場合での検出画像が、また、図 23 (C) にはその角度が  $-45^\circ$  である場合での検出画像を示されているが、これら両図から判るように、正常平坦部分での明るさは同一でありながらも、ひび欠陥部分 (右上がり傾斜) は図 23 (B) に示す画像では正常平坦部分より明るいが、図 23 (C) に示す画像では正常平坦部分よりも暗く検出されたものとなっている。また、面取加工エッジ部分については、図 23 (B) に示す画像では左側面取加工エッジ部分 (右上がり傾斜) が明るく、右側面取加工エッジ部分 (右下がり傾斜) が暗く検出されているが、図 23 (C) に示す画像では逆に左側面取加工エッジ部分が暗く、右側面取加工エッジ部分が明るく検出されたものとなっている。因みに、欠け対応部分 2a については、図 23 (B)、(C) に示す画像の何れでも暗く検出されたものとなっている。したがって、図 23 (B)、(C) に示す画像から両画像間での差画像を演算によって求めるようにすれば、差画像は図 23 (D) に示す如くに得られるというものである。但し、その差画像は表面上、差の値が “0” とその近傍の値を中間調として表示する一方、正の値は明るく、また、負の値は暗く表示されたものとなっている。図 23 (D) からも判るように、ひび欠陥対応部分と面取加工エッジ部分だけが正、または負の大きな値を持ち、正常平坦部分および欠け欠陥に対応する部分では何れも殆どその値が “0” となっている。

【0083】よって、その差画像を所定に 2 値化処理した上、論理和合成すれば、ひび欠陥対応部分と面取加工エッジ部分を容易に検出し得るというものである。即ち、図 23 (D) に示す差画像において、しきい値 THa を超える値を持つ画像領域部分を論理 “1” とすべく、予め設定されたしきい値 THa (> 0) を以て 2 値

化処理すれば、図24(A)に示す如くの2値画像が得られるものである。また、同一差画像に対し、しきい値 $T_{Hb}(<0)$ よりも小さい値を持つ画像領域部分を論理“1”とすべく、予め設定されたしきい値 $T_{Hb}(<0)$ を以て2値化処理すれば、図24(B)に示す如くの2値画像が得られるというものである。図24(A)では右上がりの傾斜を持つ部分だけが、また、図24(B)では右下がりの傾斜を有する部分だけが検出されているわけであるが、図24(A), (B)に示す2値画像を単に論理和合成するだけでは、ひび欠陥の存在領域を検出し得ないことは明らかである。しかしながら、幸いにも面取加工はレール面縁部であるエッジ部分に対してのみ行われていることから、2値画像各々に含まれている傾斜部分の分布形状を調べることによって、面取加工エッジ部分と区別された状態でひび欠陥による傾斜部分のみを検出することが可能となるものである。より具体的に2値画像から面取加工エッジ部分とひび欠陥部分を判別する方法について説明すれば以下のようなである。

【0084】即ち、図24(A)からも判るように、右上がり傾斜の面取加工エッジ部分はレール面左側のエッジ部分として存在し、また、右下がり傾斜の面取加工エッジ部分はレール面右側のエッジ部分として存在していることから、この事実を利用することによって、面取加工エッジ部分と区別された状態でひび欠陥による傾斜部分のみを検出しえるものである。右上がり傾斜部分が検出されている図24(A)に示す2値画像を左上の点から右方向にラスタスキャンするようにして、各走査線について最初に出現する論理“1”的領域を面取加工エッジ部分と見做し、2番目以降に出現する論理“1”的領域をひび欠陥による傾斜部分であると見做すものである。同様に、右下がり傾斜部分が検出されている図24(B)に示す2値画像を右上の点から左方向にラスタスキャンするようにして、各走査線について最初に出現する論理“1”的領域を面取加工エッジ部分と見做し、2番目以降に出現する論理“1”的領域をひび欠陥による傾斜部分であると見做すようになるものである。何れの場合でも、面取加工エッジ部分であると見做された領域を論理“0”に置換した上、論理和合成すれば、図24(C)に示す如くの画像が得られるものである。図24(C)から明らかのように、ひび欠陥部分だけが正しく検出されていることが判る。しかし、このような判別方法は万全とはいえないものとなっている。例えばレール面右側の面取加工エッジ部分にひび欠陥が存在し、左側の面取加工エッジ部分には広い範囲に亘って欠け欠陥が存在している場合には、左上からラスタスキャンを始める走査線上では、最初に出現する論理“1”的領域がひび欠陥によるものであるにも拘わらず、これを面取加工エッジ部分であると見做すことになることから、上記判別法による場合には、ひび欠陥を見逃してしまう虞がある。

るといものである。面取加工エッジ部分にひび欠陥が存在している場合でもひび欠陥を見逃さないようにするには、例えば検出された画像から面取加工エッジ部分の存在位置を予め検出しておき、ラスタスキャン時の各走査線上で、面取加工エッジ部分からある距離以上離れた傾斜部分は全てひび欠陥であるという判断規準を追加することで対処し得るものとなっている。また、このような判別方法とは別に、磁気ヘッド撮像画像中における面取加工エッジ部分の存在位置がステージ30に対する位置決め駆動制御データより予め知れている場合には、図24(A), (B)各々に示す2値画像中における面取加工エッジ部分の存在領域を強制的に論理“0”に置換せしめた上、論理和合成するようにすれば、図24(C)に示す如くの画像は容易に得られるものとなっている。外観検査対象の種別が予め知られている場合は、正常傾斜部分の存在位置は既知とされることから、実際にはこのような判別方法が妥当なものとなっている。

【0085】さて、再び図20に戻り画像処理部20での画像処理について説明すれば、図25はその画像処理部20の一例での具体的構成を示したものである。既述したように、偏光子13の偏光方向が1/4波長板14の光軸に対し $\alpha (=45^\circ)$ に設定された状態での、磁気ヘッド1に対する検出画像信号はA/D変換器209を介し多値画像データとしてメモリ202に蓄積されているが、このメモリ202からの検出多値画像データの読み出しが、偏光子13の偏光方向が1/4波長板14の光軸に対し $\beta (-45^\circ)$ に設定された状態での、磁気ヘッド1のTVカメラ19による画像検出に同期して行われるものとなっている。このようにすれば、同一画素間での差多値画像データが差分回路205で順次得られるものである。この差多値画像データは図23(D)に示す差画像対応の画像信号に対応するものであることは明らかであるが、差分回路209から順次得られる差多値画像データはまた2値化回路206a, 206b各々で予め設定されたしきい値 $T_{Ha}, T_{Hb}$ によって2値化処理されるものとなっている。この2値化処理により図24(A), (B)各々に示す2値画像対応の画像信号が得られるわけであるが、2値化回路206a, 206b各々からの2値画像対応の画像信号に対しては、面取加工部除去回路206a, 206b各々でその画像信号の一部が値“0”的多値画像データに置換されるものとなっている。面取加工エッジ部分の存在領域対応の2値画像信号が出現するタイミングで、2値画像対応の画像信号に対し値“0”的多値画像データを挿入置換すれば、面取加工エッジ部分の存在領域対応の2値画像信号は強制的に論理“0”的状態におかれるわけである。したがって、面取加工部除去回路206a, 206b各々からの2値画像信号の加算回路207で論理和によって合成するようにすれば、図24(C)に示す画像対応の画像信号が得られ、論理“1”的状態の画像信号

の出現タイミングからひび欠陥の存在領域位置が知れるものである。このように、磁気ヘッド1上に反射率の異なる部分が存在していても、正常平坦部分（傾斜が0°である部分）であれば、2枚の画像の差分処理によりその明るさを相殺し得ることから、反射率の異なる部分を誤検出することなくひび欠陥のみを検出することが可能となるものである。また、欠けやボイドのように、照明光が散乱される欠陥についても、2枚の画像の差分処理により検出信号強度を相殺し得ることから、その存在がひび欠陥の検出に影響を与えることはないものである。このような事情はしみや異物についても同様となっている。

【0086】さて、図20では偏光子13の偏光方向と1/4波長板14の光軸方向のなす角度 $\alpha$ は±45°に設定されているが、ここで、その角度 $\alpha$ とひび欠陥検出感度との関係について考察することにする。図26には図20での偏光子13の偏光方向と1/4波長板14の光軸方向のなす角度 $\alpha$ をパラメータとする。試料（外観検査対象、あるいは磁気ヘッド）の傾斜角度とTVカメラで検出される信号強度との関係が一例として示されているが、図示のように、角度 $\alpha$ が±45°に設定された際に、試料上の傾斜角度が0°付近における出力信号強度の変化が最も大きくなり、傾斜角度の小さなひび欠陥の検出感度が最高となることが判る。図20では角度 $\alpha$ が±45°に設定された状態で検出画像の差が演算されていることから、感度は更にその2倍となる。但し、実際の顕微鏡においては、ハーフミラー15の偏光特性などにより、検出感度が最高となる角度は必ずしも±45°とはならない。

【0087】以上、本発明による磁気ヘッド検査装置（あるいは外観検査装置）の一例での概要構成について説明したが、図27は他の例での磁気ヘッド検査装置（あるいは外観検査装置）の概要構成を示したものである。これによる場合、図20に示すものとの相違は、照明光学系に代って、検出光学系の検光子18の前（対物レンズ17に近い側）に1/4波長板14が挿入されている点である。検光子18の偏光方向に対する1/4波長板14の光軸方向は任意に設定可とされているが、このように、1/4波長板14が検出光学系に設定される場合でも、外観検査対象としての磁気ヘッド1からの干渉すべき2つの反射光線に対し、1/4波長板14によりオフセットとしての位相差を与えることが可能とされることから、図20でのものと同様の効果が得られるものとなっている。

【0088】図28、図29は、図27に示す光学部品各々での光軸方向、あるいは偏光方向と、それら光学部品各々による偏光状態の変化を示したものである。図28には1/4波長板14の光軸方向が検光子18の偏光方向に対し角度 $\alpha$ （ $\alpha=45^\circ$ を想定）に設定されている場合での偏光状態の変化が、また、図29にはその角

度が $\beta$ （ $\beta=-45^\circ$ を想定）に設定されている場合での偏光状態の変化が示されているが、両図とも、偏光子13から試料（磁気ヘッド、あるいは外観検査対象）の表面までの照明系の状態は省略されており、試料表面での反射から検光子18までのみが示されたものとなっている。図28、図29とともにその（A）には試料表面が光軸に対し傾斜していない場合を、また、その（B）には試料表面が光軸に対し傾斜している場合が示されたものとなっている。両図の（A）に示すように、試料表面に傾斜がない場合には、ウォラストンプリズム16で合成された反射光は検光子18の偏光方向に直交する直線偏光となり、1/4波長板14で円偏光となることから、検光子18からは円偏光の直径に対応した振幅の光出力が得られるものとなっている。これに対し、両図の（B）に示すように、外試料表面に傾斜が存在している場合は、試料表面からの2つの反射光には位相差が生じていることから、ウォラストンプリズム16で合成される反射光は直線偏光ではなく橢円偏光となる。図28（B）ではこの橢円偏光が1/4波長板14により検光子18の偏光方向を長径とする橢円偏光に変化せしめられることから、検光子18からの光出力は正常平坦部分よりも大きなものとなっている。これとは逆に、図29（B）では検光子18の偏光方向に直交する方向を長径とする橢円偏光に変化せしめられることから、検光子18からの光出力は正常平坦部分よりも小さなものとなっている。

【0089】即ち、図27に示す磁気ヘッド検査装置（あるいは外観検査装置）でも、検光子18の偏光方向に対し1/4波長板14はその光軸方向のなす角度が $\alpha$ に設定された状態でTVカメラ19によって先ず第1の画像が検出された後は、その角度が $\beta$ （ $=-\alpha$ ）に変更設定された状態で第2の画像が検出されているものであり、画像処理部20ではそれら検出された2枚の画像の差が演算されることで、明るさの異なる部分を傾斜が存在する部分として検出し得るものである。図27に示す磁気ヘッド検査装置（あるいは外観検査装置）でも、 $\alpha=45^\circ$ 、 $\beta=-45^\circ$ に設定される場合に最も検出感度が高くなっている。

【0090】図30は本発明による磁気ヘッド検査装置（あるいは外観検査装置）の更に異なる他の例での概要構成を示したものである。既にこれまでに説明した磁気ヘッド検査装置（あるいは外観検査装置）では、1/4波長板14の光軸方向を偏光子13、あるいは検光子18の偏光方向に対し所定角度に設定する度に、磁気ヘッド、あるいは外観検査対象の画像が検出されるようになっていたが、図30に示すものでは、画像処理に必要とされる2枚の画像が同時に検出されるべく構成されたものとなっている。図示のように、検出光学系の光路はハーフミラー15bで2つに分割されており、分割された光路には1/4波長板14a、14b、検光子18a、

50

18 b および TV カメラ 19 a, 19 b が備えられたものとなっている。その際、一方の光路では検光子の偏光方向と 1/4 波長板の光軸方向のなす角度は  $\alpha$  に設定されており、他方の光路ではその角度は  $\beta$  に設定されたものとなっている。したがって、図 30 でのものでは、画像処理に必要とされる 2 枚の画像が同時に検出されることから、その分検査に要される時間は短縮化され得るものである。また、TV カメラ 19 a, 19 b 各々での画像検出動作が同期状態にある場合には、図 25 に示す画像処理部 20 において、TV カメラ 19 a, 19 b 各々からの画像検出信号は A/D 変換された上、直接差分回路 205 に与えられるから、メモリ 202 を省略することも可能となっている。

【0091】最後に、図 20, 図 27、あるいは図 30 に示す磁気ヘッド検査装置（あるいは外観検査装置）において、磁気ヘッド、あるいは外観検査対象を位置決め載置しているステージ 30 によってそれら磁気ヘッド、あるいは外観検査対象のその表面を光軸に対して垂直に厳密に設定し得なく、その表面全体が光軸に対し傾斜している場合での画像処理方法について説明する。図 31 はそのような場合に適用される本発明に係る画像処理部の一例での具体的構成を示したものである。既述のように、差分回路 205 からは、図 23 (D) に示す差画像対応の画像信号が差多値画像データとして順次得られるが、この差多値画像データは即 2 値化回路 201 a, 201 b 各々で 2 値化処理されることなく、先ずはその差多値画像データからはそのヒストグラムがヒストグラム演算部 203 で演算された上、最頻度値演算部 204 ではヒストグラム中から最頻度値が求められるようになっている。これにより差画像中での最も頻度の多い明るさ、即ち、磁気ヘッド、あるいは外観検査対象上の正常平坦部分が光学系の光軸に対して傾斜している場合に生じる誤差成分の明るさが算出され得るものである。この算出された値が予め設定されている 2 値化処理用のしきい値 THa, THb に加算されるべく加算回路 208 a, 208 b 各々でしきい値 THa, THb に加算するようすれば、しきい値 THa, THb は最適に修正され得、修正しきい値によって差多値画像データに対し 2 値化処理を行うようすれば、磁気ヘッド、あるいは外観検査対象の表面が光軸に対して傾斜している場合でも、その影響を受けることなく高い感度でひび欠陥が検出され得るものである。なお、図 31 に示す例では、差分回路 205 からの差多値画像データは一旦蓄積されていないことから、修正しきい値が確定した後に、必要とされる 2 枚の画像検出を更に 1 回行う必要があるが、差多値画像データ蓄積用のメモリが設けられている場合は、ヒストグラム演算に並行して、差多値画像データの蓄積が行われ、しきい値確定後にそのメモリから差多値画像データを読み出した上、2 値化回路 201 a, 201 b 各々で修正しきい値にもとづき 2 値化処理が行われるようにす

ればよいものである。

【0092】以上、本発明による外観検査方法や外観検査装置、あるいは磁気ヘッド検査方法や磁気ヘッド検査装置について説明したが、本発明による磁気ヘッド検査装置が磁気ヘッド製造設備の最終段階に具備せしめられる場合は、製造直後の磁気ヘッド上にひび欠陥が存在するか否かが確実に検出され得るものとなっている。

【0093】以下、本発明の他の実施例を薄膜磁気ヘッドの外観検査を例にとり、図面に従い説明する。

10 【0094】一般に薄膜磁気ヘッドは、セラミックウェハ上に多数の素子を形成した上、これを切断加工し、更に加工済みの磁気ヘッドに対しリード線やアームを取り付けることによって得られるが、このようにして得られた薄膜磁気ヘッドに対しては、各種の電気的特性検査や外観検査が最終製造段階で行われている。外観検査が必要とされるのは、それら切断加工や組立、検査工程中に磁気ヘッドに不要な外力が加えられた場合には、欠けや傷、ひびなどの欠陥が発生している虞があり、これら欠陥が存在している場合には、磁気ディスク装置の信頼性に重大な影響を及ぼすからである。

【0095】ここで、薄膜磁気ヘッドについて詳細に説明すれば、図 45 はその全体構成を示したものであり、同図 (a) は薄膜磁気ヘッド 1 の全体を示し、同図 (b) は薄膜磁気ヘッド本体 1 (以下、単に磁気ヘッドと称す) 及びそこに存在する外観不良を示したものである。磁気ヘッド本体では、同図 (b) に示す 2 本のレール状の領域 9 (以下、レール面と称する) がディスクと接触するため、特に厳密に外観を検査する必要がある。これは、磁気ディスク駆動中に磁気ヘッドが安定に浮上できるよう、ディスクと磁気ヘッドの間に気流の流入を助けるために、レール面にテーパ加工が施され傾斜した領域 7 が存在する (以後、テーパ領域と称する)。同図 (c) は、同図 (b) に示す欠陥の断面図を示したものである。同図からわかるように、そのレール面上やエッジ部には欠け 2 (エッジの一部が割れて破片が消失したもの) や傷 5 (レール表面が硬い物質と擦れることにより生じたもの) や、ひび欠陥 4 (亀裂によりヘッドの一部が浮き上がり、破片が正常平坦部分の表面に対し傾斜した状態になって残っているもの) が発生する虞があるが、このうち、小さな欠けや傷はヘッドの浮上特性に対し殆ど影響を与えないことから、欠陥としての致命度は低いものとなっている。しかし、大きな欠けは浮上特性に影響を与えることから検出される必要があるが、ひび欠陥についてその大きさに係わらず検出される必要がある。これは、磁気ディスク装置が動作中、薄膜磁気ヘッドは磁気ディスク面に対しわずかな間隔を保って浮上しているが、ひび欠陥が磁気ヘッドの表面よりも盛り上った状態で存在している場合には、ひび欠陥が磁気ディスク表面に物理的に接触する可能性が大となるからである。ひび欠陥の存在は、最悪の場合、磁気ディスク装置

30 40 ひび欠陥の存在は、最悪の場合、磁気ディスク装置

の作動中、ひび欠陥から破片が落下することにもなれば、磁気ヘッドクラッシュの原因ともなるものである。【0096】以上のように、磁気ヘッドの上に欠陥が存在しているか否かを検査する必要があるが、特に致命度の高いひび欠陥を確実に検出する必要がある。ひび欠陥は、亀裂により囲まれた領域全体がわずかに傾斜しているため、金属顕微鏡において使用される通常の落射照明では、亀裂のみが暗い筋として検出され、わずかに傾斜した領域を明るさの違いとして検出することはできない。そこで、微分干渉顕微鏡で画像を検出することにより、わずかに傾斜した領域全体を明るさの違いとして確実に検出することができる。しかし、ひび以外の欠陥である欠けと傷は、反射光が散乱することから干渉強度の変化が不規則となるが、落射照明では確実に暗く検出できる。以上のことから、磁気ヘッドの全ての欠陥を確実に検出するためには、ひび欠陥を微分干渉法により、欠けと傷欠陥を落射照明により検出する必要がある。

【0097】図32は、本発明の一実施例であり、薄膜磁気ヘッドの外観欠陥を検査することを目的としている。同図に示すように、検査対象である薄膜磁気ヘッド1は、水平面内の回転位置補正を行うθステージ301と、水平補正を行うゴニオステージ302と、焦点位置補正を行うzステージ303を組み合わせた上に設置されており、搬送系34によりステージ上に供給される。また、磁気ヘッドのレール面上の高さを測定するレーザ変位計43を具備している。検査対象上には、微分干渉\*

$$L = A_p e^{j\omega t}$$

【0100】同図(c)は、偏光子が波長板o軸と一致する規準軸から $\theta_p$ 回転した状態において、波長板を通しておの、e各偏光方向の振幅成分 $L_o$ 、 $L_e$ 示したもの※

$$\left\{ \begin{array}{l} L_o = A_p \cos \theta_p e^{j\omega t} \\ L_e = A_p \sin \theta_p e^{j(\omega t + \pi/2)} \end{array} \right.$$

【0102】ハーフミラーの反射率は、照明光偏光方向とハーフミラーの法線がなす面(入射面)との関係により決定する。入射面と一致する偏光方向をp方向、直交する方向s方向とする。複屈折プリズムの照明光分離方向をp偏光方向と一致させた場合、複屈折プリズム通過★

$$\left\{ \begin{array}{l} L_p = \frac{R_p}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t + \theta_p)} \\ L_s = \frac{R_s}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t - \theta_p)} \end{array} \right.$$

【0104】ただし、 $R_p$ および $R_s$ はそれぞれp偏光およびs偏光のハーフミラーでの反射率を表わす。つま

\*顕微鏡を構成し、干渉強度をTVカメラ19で検出し、検出された画像は、画像処理部20に転送される。さらに、これら装置全体を制御するコントローラ40を備えており、画像処理結果の一部とレーザ変位計43からの測定値が入力となる。本実施例の最も大きな特徴はコントローラ22からの出力により3つのステージ(31, 32, 33)と搬送系41のみならず、微分干渉光学系の構成素子である偏光子13と複屈折プリズム16aを最適な角度に回転することにある。

【0098】以下、本実施例を基に、発明の内容を説いて行く。図33は、図32の実施例の微分干渉顕微鏡の構成を詳細に示したものである。同図において、各光学素子に記入されている矢印は、各素子の光学軸方向を示すものである。同図の光学系における特徴は、複屈折プリズム16aが回転可能であることと、複屈折プリズム16aの光学軸方向をハーフミラー15の光学軸方向と一致させた状態において微分干渉効果を実現することにある。図34は図33の光路中の偏光状態を示したものである。以下、図34を用いて、図33の光学系の効果を説明する。図34の(b)から(e)の偏光状態の表記は、同図(a)の方法に従っている。同図(b)は、偏光子通過後の偏光状態を示したものであり、直線偏光状態であることを示す。このため、振幅を $A_p$ とすると、直線偏光Lは(数6)となる。

【0099】

【数6】

…(数6)

※のであり次式となる。

【0101】

【数7】

…(数7)

★後のp, s各偏光成分は、同図(d)の様になり、これを表記すれば数8となる。

【0103】

【数8】

…(数8)

り、複屈折プリズムにより分岐された2つの照明光の間には、偏光子の回転角度 $\theta_p$ の2倍の位相差が生じること

とがわかる。この2つの照明光が傾斜した試料面の離れた2点で反射することにより、(数2)により与えられる位相差 $\Delta\phi$ が追加されるため、反射光は(数9)のよ\*

うになる。

【0105】

$$\left\{ \begin{array}{l} L_p = \frac{R_p}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t + \theta_p + \Delta\phi)} \\ L_s = \frac{R_s}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t - \theta_p + \Delta\phi)} \end{array} \right. \quad \cdots \text{(数9)}$$

【0106】これら2つの反射光は、複屈折プリズムを通過することにより再び同一光路に戻るが、偏光方向が互いに直交しているため干渉することなく、そのままハーフミラーを透過する。この時、各偏光方向はハーフミラ

ーを反射時の偏光方向と一致するため、ハーフミラーの透過光は次式となる。

【0107】

ーを透過する。この時、各偏光方向はハーフミラ

ーを反射する。

【数10】

$$\left\{ \begin{array}{l} L_p = \frac{R_p T_p}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t + \theta_p + \Delta\phi)} \\ L_s = \frac{R_s T_s}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t - \theta_p + \Delta\phi)} \end{array} \right. \quad \cdots \text{(数10)}$$

【0108】ただし、 $T_p$ および $T_s$ はそれぞれp偏光およびs偏光のハーフミラーでの反射率を表わす。これら反射光を検光子に通過させることにより、同図(e)に示すような同一方向の偏光状態となるため干渉し、干

★涉強度は次式として検出できる。

【0109】

【数11】

★示すように同一方向の偏光状態となるため干渉し、干★

$$I = R_p T_p R_s T_s \cdot \frac{A_p}{2} \left\{ \frac{R_p^2 T_p^2 + R_s^2 T_s^2}{2 R_p T_p R_s T_s} \right.$$

$$\left. + \cos(\Delta\phi - 2\theta_p) \right\} \quad \cdots \text{(数11)}$$

【0110】同式によれば、干渉強度は試料傾斜による位相差 $\Delta\phi$ の余弦関数により変化し、偏光子回転角度により干渉状態を任意に制御可能であることがわかる。また、ハーフミラーの反射率および透過率は干渉強度の係数となるため、ハーフミラーの特性が変化しても干渉強度特性には、振幅の変化および定数項として作用するだけであり、位相による変動成分とは分離できることが分かる。これが、図33に示す光学系において、ハーフミラ

★ラーと複屈折プリズムの偏光方向を一致させる構成により実現できる大きな特徴である。特に $R_p T_p = R_s T_s$ の関係を満たすとき、干渉強度変化は(数12)となり、試料傾斜に対する干渉強度を最大として検出することができる。

【0111】

【数12】

I = K (1 + cos( $\Delta\phi - 2\theta_p$ ))

…(数12)

【0112】ただし、Kは反射率の影響を表わす比例定数である。

40◆料傾斜による位相差 $\Delta\phi$ と干渉強度Iとの関係を示したものであり、(数12)から干渉強度Iは次式となる。

【0114】

【数13】

【0113】図35と図36は、図32の実施例において実現される第1の発明を説明したものである。図35(a)は、偏光子回転角度 $\theta_p$ を $\pi/4$ としたときの試◆

$$I = K (1 + \sin(\Delta\phi))$$

…(数13)

【0115】つまり、傾斜位相差 $\Delta\phi$ が0、即ち水平面から相対的に傾斜した状態で干渉強度変化が最大となることがわかる。そこで、図32の実施例において、レーザ位計35により磁気ヘッドレール面上の3点の高さを測定し、その結果から磁気ヘッド傾斜角度を演算し、

自動ステージ32により水平に補正する。その結果、磁気ヘッドレール面が水平となるため、レール面上の傾斜領域であるひび欠陥がレール面正常部と異なる明るさを有することとなる。つまり、同図(a)のA点付近に一点破線で示す2つの閾値24を設定し、2つの閾値によ

り挿まれる明るさを有する領域以外をひび欠陥として検出することができる。一方、レール面には、図36(a)に示すような傾斜領域(テーパ領域)が存在する。テーパ領域のレール面水平領域との傾斜角度 $\theta_t$ は加工仕様により決められており既値である。 $\theta_t$ を数2により位相差に概算した値を $\phi_t$ とすると、テーパ領域の干渉強度は図35(a)のB点となるため、前述の閾値処理により図36(b)の様にテーパ領域全体がひび欠陥と同様に検出されてしまう。さらに、同図(a)のようにテーパ領域に存在するひび欠陥は検出することができない。テーパ領域のひび欠陥のみを検出するためには、B点付近にA点と同様な閾値を設定して2値化を行うか、磁気ヘッドを $\theta_t$ 回転させることによりテーパ領域を水平に補正してA点付近の閾値で2値化を行うこと\*

$$I = K \{ 1 + \cos(\Delta\phi + \phi_t + \pi/2) \}$$

【0117】同図(b)は、同図(a)を $\phi_t$ 右に移動したものであるため、C点付近に閾値を設定して2値化することにより同図(a)のA点と同一感度で異常傾斜を検出することができる。この結果、図36(c)のように、テーパ領域に存在するひび欠陥をレール面水平領域のひび欠陥と同一感度で検出することが可能となる。

【0118】図37と図38は、図32の実施例において実現される第2の発明を説明したものである。図37(a)は図35(b)と同一の条件であり、偏光子回転角度を $\phi_t/2 + \pi/4$ とした場合の干渉強度を示している。磁気ヘッドのレール面は、セラミック焼結体の研磨面であるため、表面に多数の輝点が存在する。(数12)から分かるように、微分干渉強度Iは試料傾斜による位相差 $\Delta\phi$ と反射率の影響Kにより変動する。そのた\*

$$I = K \{ 1 + \cos(\Delta\phi + \phi_t - \pi/2) \}$$

【0120】図37(b)は、これら2枚の画像により検出される干渉強度を示したものである。2つの状態の干渉強度は、 $\phi_t$ において対称となることが分かる。これら2枚の画像の差分を演算することにより、図37★

$$\Delta I = 2K \sin(\Delta\phi + \phi_t)$$

【0122】つまり、 $\phi_t$ の傾斜面上では反射率の違いによらず常に信号強度は0であり、相対的に傾斜した領域では図37(b)に示す2枚の画像の2倍の信号強度変化が得られる。図38(a)は、図36(a)に示すテーパ領域を検出した第1の画像を示し、図38(b)は第2の画像を示す。2枚の画像の間で、テーパ領域の明るさを等しく、テーパ領域から傾斜した領域の一方を暗く、他方を明るく検出できていることが分かる。同図(c)は、差画像を図6(c)の明るさ0付近に設定した閾値により2値化した結果を示したものである。テーパ領域では反射率の違いによらず常に信号強度が0となるため輝点が除去され、ひび欠陥のみが高い感度で検出できることが分かる。従来技術では、数5に示すように本発明の $\phi_t$ が0の場合、つまり水平面に対する場合しか考慮されていなかったが、本発明では任意の傾斜平面

\*が考えられる。しかし、前者の方式はB点付近の干渉強度変化率がA点付近に比べて劣っているため、ひび欠陥の検出感度が劣る。後者的方式では、検出視野内で試料が移動する虞があるため、他の条件で検出した画像との位置合わせが必要となる。本発明は、偏光子回転角度を試料傾斜により決定する最適な角度に設定することで、傾斜平面内の異常傾斜を水平面と同一感度で、しかも試料を移動させることなく検出できることが大きな特徴である。図35(b)は、偏光子回転角度 $\theta_p$ を $\phi_t/2 + \pi/4$ とした場合の干渉強度特性を示したものであり、これは数12より次式(数14)として表わされる。

【0116】

【数14】

…(数14)

※め、同一平面上であっても反射率が異なると干渉強度Iも変化する。図37(a)の実線は、輝点以外のレール面の干渉強度であり、破線は輝点部の干渉強度を表わす。テーパ領域内のひび欠陥を検出するために同図のA点付近の閾値24により2値化を行うと、同図B点も2つの閾値に挿まれた領域外にあるため検出される。このため、図36(c)に示すようにひび欠陥と共に多数の輝点25を誤検出してしまう。そこで、偏光子回転角度を $\phi_t/2 + \pi/4$ とした状態で第1の画像を検出し、 $\phi_t/2 - \pi/4$ の状態で第2の画像を検出することを考える。第2の画像の干渉強度は次式(数15)により与えられる。

【0119】

【数15】

…(数15)

★(c)の画像強度特性を有する差画像が得られる。これは、次式により与えられる。

【0121】

【数16】

…(数16)

上の反射率の影響を受けないことが大きな特徴である。

【0123】図39は、図32の実施例において実現できる第3の発明を説明したものである。磁気ヘッドレール面には、ひび欠陥以外にも欠けと傷欠陥が存在する。これらは欠陥は、反射光を散乱するため微分干渉法で検出される干渉強度は微小な値しか持たず不安定であり明暗の変化がつきにくい。しかし、通常の落射照明により暗く検出することが可能である。そのため、微分干渉光学系により落射照明を実現するためには、図33に示す複屈折プリズム16aを光路から外す必要がある。しかし、(数14)と(数15)に示す干渉条件の異なる2枚の画像の平均値演算を行うと、両式の干渉項が消去され次式となる。

【0124】

【数17】

41  
 $I = K$

【0125】(数17)は、反射率の影響にのみ依存して変化するため、落射照明において検出した画像と同等のものとなる。図39(b), (c)は、同図(a)の様にレール面上に欠け2や傷欠陥5が存在する場合、図38(a), (b)と同様の干渉条件で検出した画像を示している。両画面の平均値を演算することにより、傾斜領域の干渉強度が打ち消し合い、反射光が散乱する欠けと傷の領域のみが暗く検出されるため、図39(d)のように落射照明により検出した画像と同等のものとなることがわかる。本発明では、微分干涉光学系を変更することなく落射照明と同等の画像が得られることに特徴がある。

【0126】図40と図41は、図32の実施例において実現できる第4の発明を説明したものである。微分干涉顕微鏡は、照明光を分離する方向の傾斜に対して最大の感度を有し、直交する向きの傾斜に対しては感度が0となる。ひび欠陥は全方向に傾斜する可能性があるた\*

$$\left\{ \begin{array}{l} L_p = \frac{R_s T_s}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t + \theta_p + \Delta \phi)} \\ L_s = \frac{R_p T_p}{\sqrt{2}} A_p e^{j(\omega t - \theta_p + \Delta \phi)} \end{array} \right.$$

【0128】これらを検光子により干渉させた結果、検出される干渉強度は(数11)と一致することが分かる。図40のように複屈折プリズムを回転させた各状態で、それぞれ干渉強度を検出すれば、試料を回転することなく直交する2方向において等しい感度で干渉強度を検出することができる。図41(b), (c)は、上記原理を利用して同図(a)の様な磁気ヘッドレール面に存在するひび欠陥を検出した例である。図40(a)の状態により図41(a)の左右方向に照明光を分離して、第1の画像を検出したものが同図(b)である。同図(b)では、照明光を分離する方向に傾斜したひび欠陥を最も感度良く検出できるが、これと直行する方向に傾斜したひび欠陥は検出することができない。一方、図40(b)の状態により図41(a)の上下方向に照明光を分離して、第2の画像を検出したものが同図(c)である。同図(c)でも、照明光を分離する方向に傾斜したひび欠陥を最も感度良く検出できるが、これと直行する方向に傾斜したひび欠陥は検出することができない。本発明では、第1, 第2の画像の検出結果を合成することにより、全ての方向に傾斜するひび欠陥を試料を回転すことなく、漏れなく検出することが可能となる。

【0129】図42, 図43, 図44は、図32, 図33に示す構成により、上記第1から第4の発明を組み合わせることにより、磁気ヘッドレール面に存在するひび、欠け、傷欠陥を検出する方式を示したものである。

42  
…(数17)

\*め、従来全てのひび欠陥を検出するためには、試料を90度回転させて試料に対する照明光分離方向を変化させる必要があった。本発明は、試料を回転せることなく同等の効果を実現することを目的としている。図40(a)は図33の一部を書き直したものである。図33では、ハーフミラーのp偏光方向およびs偏光方向と複屈折プリズムの光学軸方向を一致させることにより、(数11)に示すように、ハーフミラーの透過率と反射率の影響を干渉強度特性の振幅変化の項とすることが可能となった。そこで、図40(b)に示すように複屈折プリズムを90度回転させることを考える。この場合も、複屈折プリズムによって分岐される照明光との互いに直交する偏光方向とハーフミラーのp, s各偏光方向が一致するため、干渉にあずかる両偏光成分は次式となる。

【0127】

【数18】

…(数18)

図32のコントローラ22からの信号により、偏光子13及び複屈折プリズム16aの回転角度を図42に示すように変更し、順次3枚の画像を検出して、画像処理部のメモリに記憶する。いま、磁気ヘッドレール面上に図44(a)の様な欠陥が存在する場合を考える。画像1及び画像2から平均値演算回路26により平均値を演算した結果、図44(b)に示すような落射照明画像と同等の画像が得られる。これを適切な閾値により2値化演算回路27aにより2値化すると、同図(b)で暗く検出できる欠け、傷欠陥領域を抽出できる。この結果同図(f)を得る。また、エッジ位置検出部28により図44(b)のエッジ位置を抽出することで、レール面領域を決定する。また、画像1、画像2から差分演算回路29aにより図44(c)を得る。同図において、図37(c)の一点破線に示すような閾値により2値化回路29bにより2値化処理を行うと、図44(a)のレール面水平領域のレール面短手方向に傾斜したひび欠陥を検出することができる。同様に、画像3、4から差分演算回路29bにより差分演算を行った結果、図44(d)を得る。同図において、2値化演算回路29bにより2値化処理を行うことにより、レール面水平領域のレール面長手方向に傾斜したひび欠陥とテーパ領域を検出することができる。この結果から、面積計測部61によりテーパ領域を抽出する。また、レール面水平領域で検出された結果のみを欠陥とする。画像5、6から差分回路29cにより差分演算を行うと、図44(e)が得られ

る。該差画像では、テーパ領域のみを対象とした2値化処理を2値化回路27dにより行う。この結果、テーパ領域に存在するレール面長手方向に傾斜したひび欠陥のみが検出される。上記3枚の差画像から抽出された欠陥を論理和演算回路62により合成したものが、図44(g)である。同図では、レール面に存在する輝点を誤検出することなく、レール面水平領域とテーパ領域に存在するひび欠陥を同一感度で検出できる。

## 【0130】

【発明の効果】本発明によれば、従来方式では検出できなかったひび欠陥の全体形状を容易に検出することができる上、欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどとの判別も容易に行えるため、微小なひび欠陥であっても誤検出することなく、確実に検出することができる。このため、製品の信頼性向上に顕著な効果があるだけでなく、ひび欠陥の存在するヘッドを特性検査装置にかけることにより生じていた、検査用ディスクの急激な摩耗を押さえることにも効果がある。

【0131】また本発明によれば、外観検査対象表面上に本格的に存在している正常傾斜部分以外に、たとえ微小なひび欠陥が異常傾斜部分として存在している虞がある場合でも、欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどの影響を受けることなく、そのひび欠陥を正常傾斜部分とは区別された状態で確実に検出し得ることができる。

【0132】また本発明によれば、磁気ヘッド表面上に本格的に存在している面取加工済エッジ部分以外に、たとえ微小なひび欠陥が異常傾斜部分として存在している虞がある場合でも、欠けやボイド、傷、しみ、汚れなどの影響を受けることなく、そのひび欠陥を正常傾斜部分とは区別された状態で、確実に検出し得ることができる。

【0133】また本発明によれば、製造済直後の磁気ヘッド上にひび欠陥が存在するか否かが確実に検出され得ることができる。

【0134】また本発明によれば、試料を移動することなく、任意に傾斜した平面上の全方向に傾斜する異常傾斜を、反射率の違いに影響されることなく、最も感度良くて検出できるのみならず、微分干渉光学系を変更することなく、落射照明による欠陥検査をも行うことが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】図1はひび欠陥検出の説明図。

【図2】図2は、磁気ヘッドの欠陥の例を示す説明図。(a)斜視図(b), (c), (d), (e)断面図

【図3】図3は、微分干渉顕微鏡の原理を示す説明図。

【図4】図4は、微分干渉顕微鏡の原理を説明する構成図。

【図5】図5は、本発明の一実施例を示す構成図。

【図6】図6は、図5の実施例における動作の説明図。

【図7】図7は、図5の実施例における検出画像の説明

図。

【図8】図8は、画像処理部の実施例を示す構成図。

【図9】図9は、TVカメラの出力信号強度を表す特性図。

【図10】図10は、本発明の他の実施例を示す構成図。

【図11】図11は、図10の実施例における動作の説明図。

【図12】図12は、図10の実施例における動作の説明図。

【図13】図13は、図10の実施例における画像処理の説明図。

【図14】図14は、TVカメラの出力信号強度を表す特性図。

【図15】図15は、本発明の他の実施例を示す構成図。

【図16】図16は、図15の実施例における動作の説明図。

【図17】図17は、図15の実施例における動作の説明図。

【図18】図18は、本発明の他の実施例を示す構成図。

【図19】図19は、本発明を利用した磁気ヘッドの自動外観検査装置の構成図。

【図20】図20は、本発明による磁気ヘッド検査装置、あるいは外観検査装置の一例での概要構成を示す図。

【図21】図21(A)～(C)は、図20に示す偏光子の偏光方向が $1/4$ 波長板の光軸に対し角度 $\alpha$ ( $\alpha = 45^\circ$ )に設定されている場合その偏光状態の変化を示す図。

【図22】図22(A)～(C)は、図20に示す偏光子の偏光方向が $1/4$ 波長板の光軸に対し角度 $\alpha$ ( $\alpha = -45^\circ$ )に設定されている場合での偏光状態の変化を示す図。

【図23】図23(A)～(D)は、図20に示す画像処理部での画像処理方法を説明するための図。

【図24】図24(A)～(C)は、同じく図20に示す画像処理部での画像処理方法を説明するための図。

【図25】図25は、図20に示す画像処理部の一例での具体的構成を示す図。

【図26】図26は、図20に示す偏光子の偏光方向と $1/4$ 波長板の光軸方向のなす角度 $\alpha$ をパラメータとして、試料(外観検査対象、あるいは磁気ヘッド)の傾斜角度とTVカメラで検出される信号強度との関係を一例として示す図。

【図27】図27は、本発明による磁気ヘッド検査装置、あるいは外観検査装置の他の例での概要構成を示す図。

【図28】図28(A), (B)は、図27に示す1／

4波長板の光軸が検光子の偏光方向に対し角度 $\alpha$  ( $\alpha = 45^\circ$ ) に設定されている場合での偏光状態の変化を示す図。

【図29】図29(A), (B)は、図27に示す1/4波長板の光軸が検光子の偏光方向に対し角度 $\beta$  ( $\beta = 45^\circ$ ) に設定されている場合での偏光状態の変化を示す図。

【図30】図30は、本発明による磁気ヘッド検査装置、あるいは外観検査装置の更に異なる他の例での概要構成を示す図。

【図31】図31は、磁気ヘッド、あるいは外観検査対象のその表面全体が光軸に対し傾斜している場合に適用される画像処理部の一例での具体的構成を示す図。

【図32】図32は本発明の他の一実施例を示す構成図。

【図33】図33は図32に示す微分干渉顕微鏡の具体的構成を示す図。

【図34】図34は図33の動作を説明するための図。

【図35】図35は本発明に係る実施例の説明図。

【図36】図36は図35に示す実施例における動作説明図。

【図37】図37は本発明に係る実施例の説明図。

【図38】図38は図37に示す実施例における動作説明図。

【図39】図39は本発明に係る実施例の説明図。

【図40】図40は本発明に係る実施例の説明図。

【図41】図41は図39, 図40に示す実施例の動作説明図。

\* 【図42】図42は検出する画像の種類を示す図。  
【図43】図43は画像処理部の実施例を示す構成図。  
【図44】図44は図43に示す実施例における動作説明図。

【図45】図45は磁気ヘッドと欠陥の例を示す構成図。

【符号の説明】

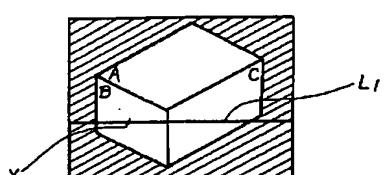
1…磁気ヘッド、2…欠け、3…ボイド、4…ひび欠陥、5…傷、7…テーパ領域、9…レール面、11…光源、12…コンデンサレンズ、13…偏光子、14, 14a, 14b…四分の一波長板、15, 15a, 15b…ハーフミラー、16…ウォラストンプリズム、16a…複屈折プリズム、17…対物レンズ、18, 18a, 18b…検光子、19, 19a, 19b…TVカメラ、20…画像処理部、24…閾値、25…輝点、26…平均演算回路、27a, 27b, 27c, 27d…2値化回路、28…エッジ抽出回路、29, 29a, 29b, 29c…差分演算回路、30…ステージ、301…θステージ、302…ゴニオインステージ、303…Zステージ、40…コントローラ、41…搬送系、43…レーザ変位計、61…面積計数回路、62…論理和演算回路、201, 201a, 201b…2値化回路、202…メモリ、203…ヒストグラム演算回路、204…最頻度演算回路、205…差分回路、206a, 206b…面取加工部除去回路、207…加算(合成)回路、208a, 208b…加算回路、209, 209a, 209b…A/D変換回路。

\*

【図1】

図 1

(a)



(b)

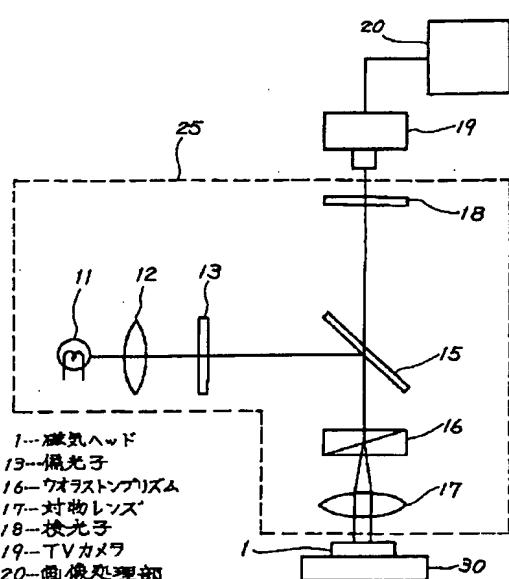


(c)

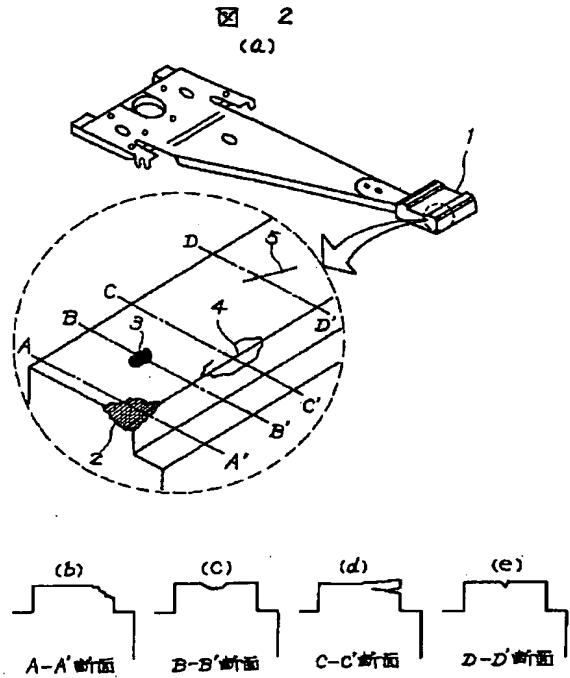


【図5】

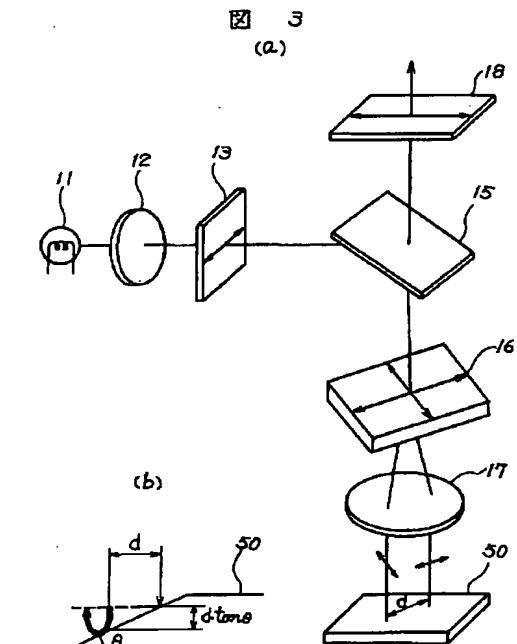
図 5



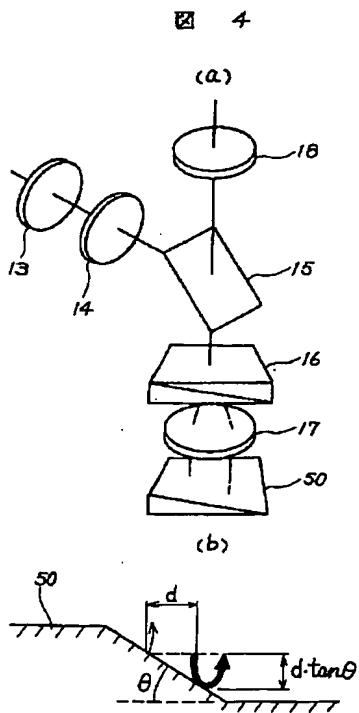
【図2】



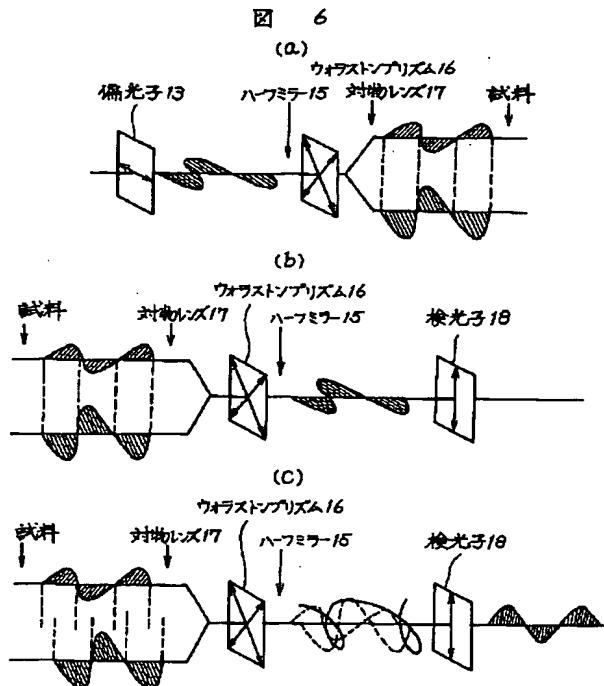
【図3】



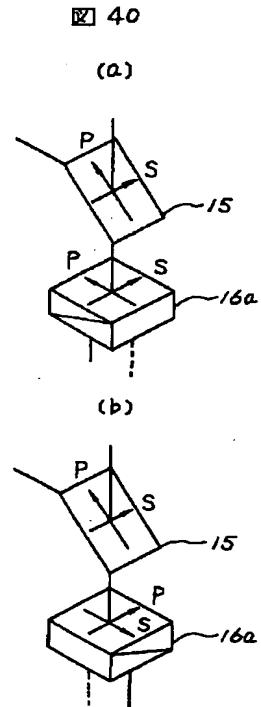
【図4】



【図6】

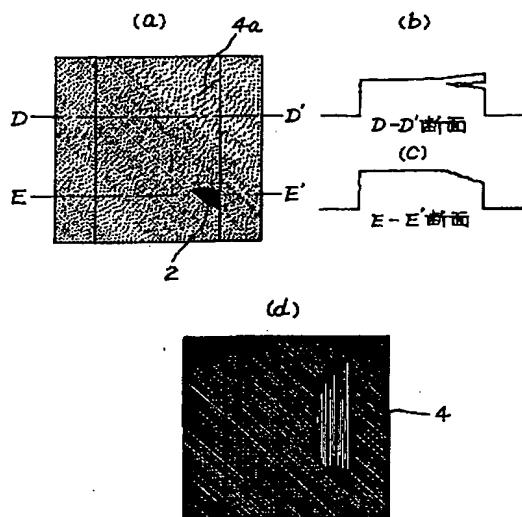


【図40】



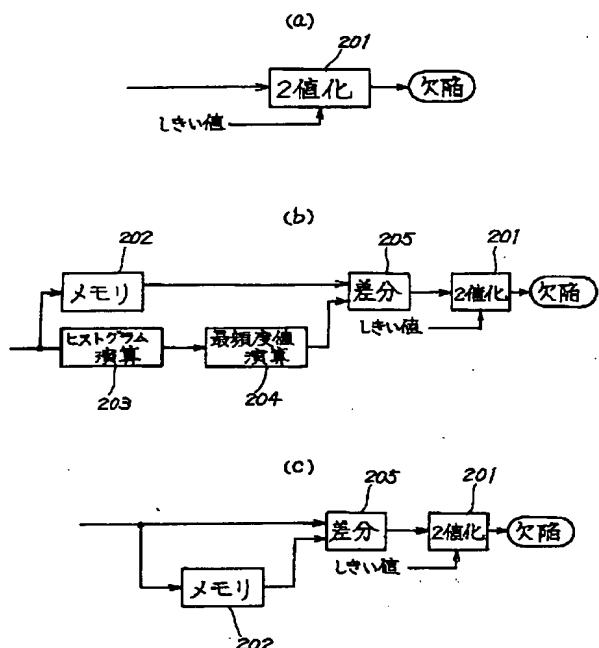
【図7】

図 7



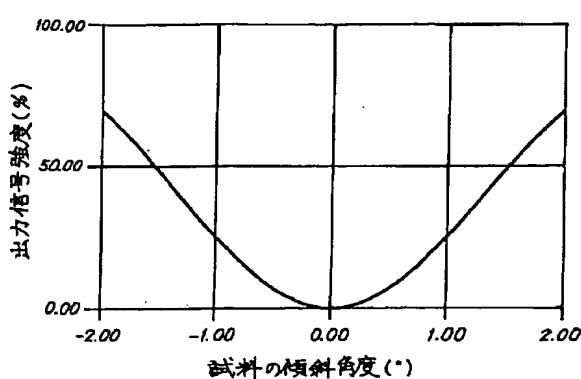
【図8】

図 8



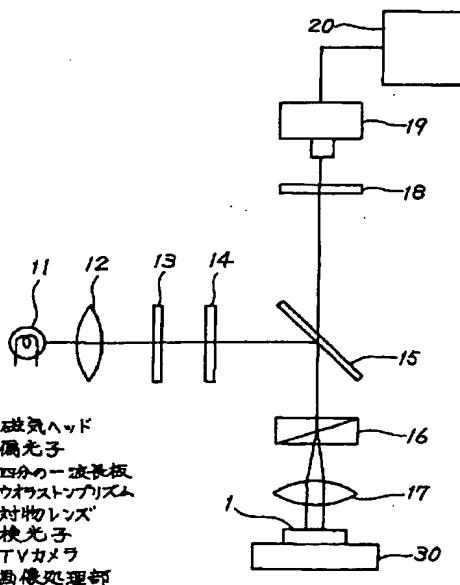
【図9】

図 9

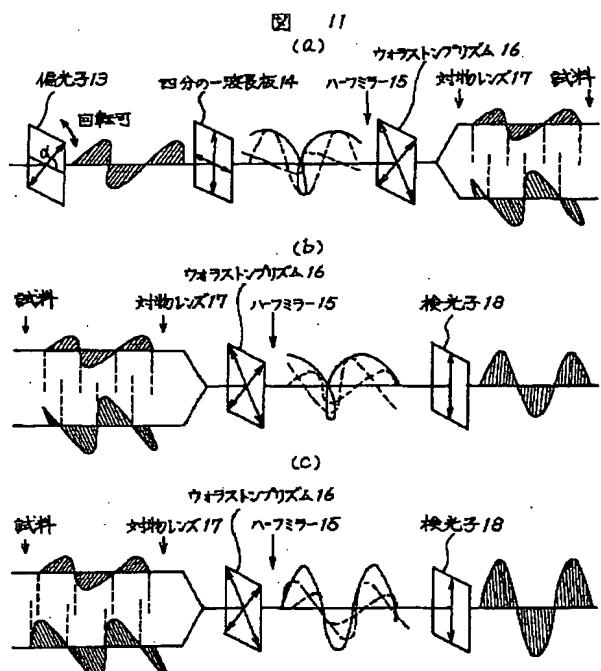


【図10】

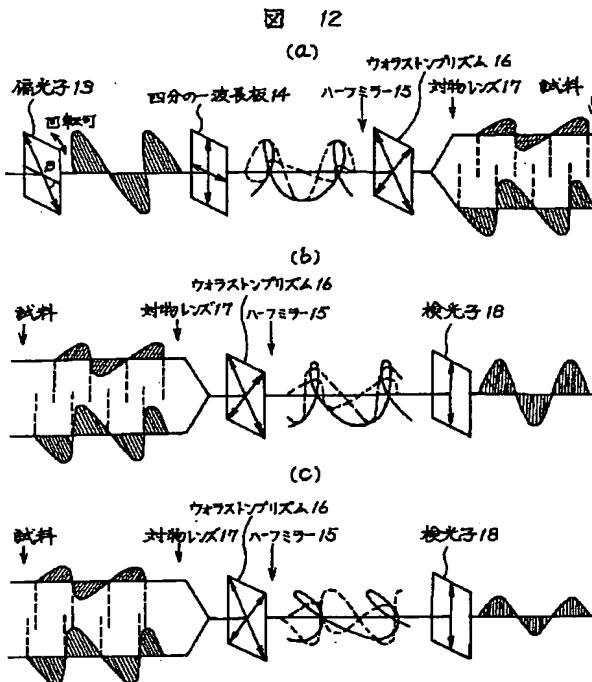
図 10



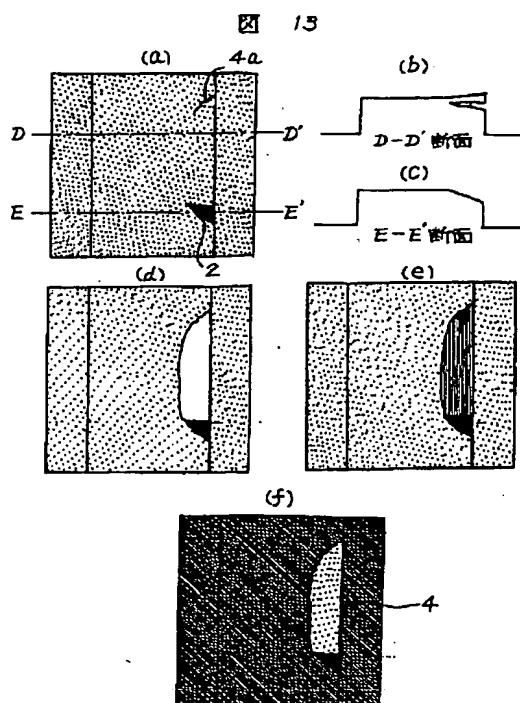
【図11】



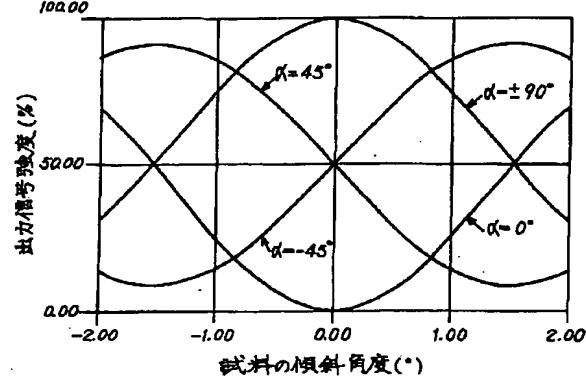
【図12】



【図13】

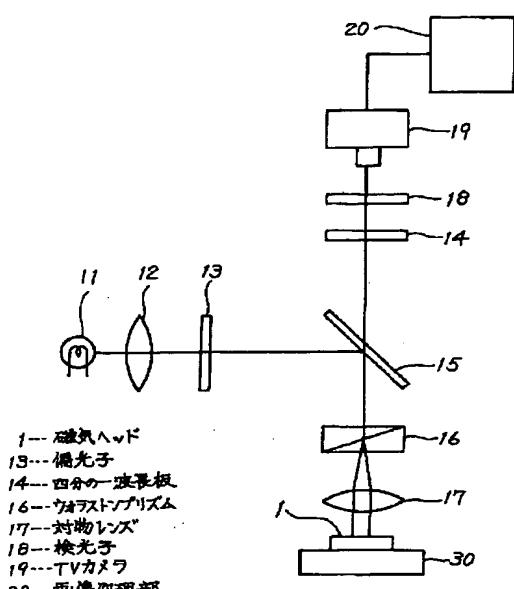


【図14】

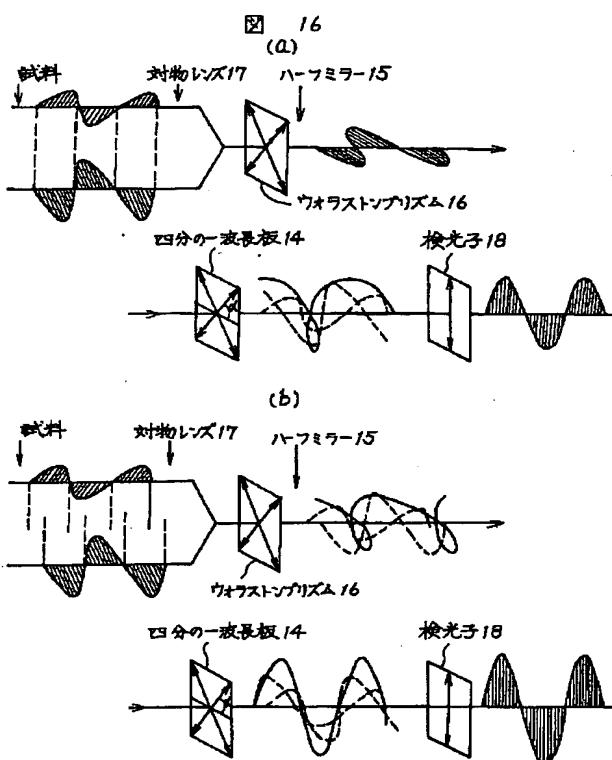


【図15】

図 15

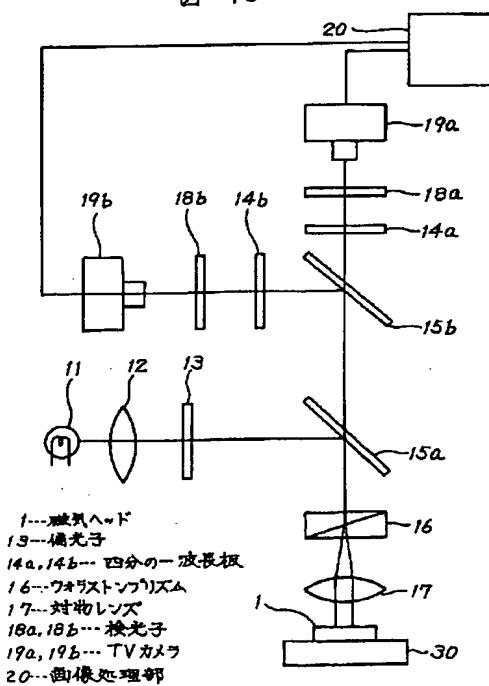


【図16】



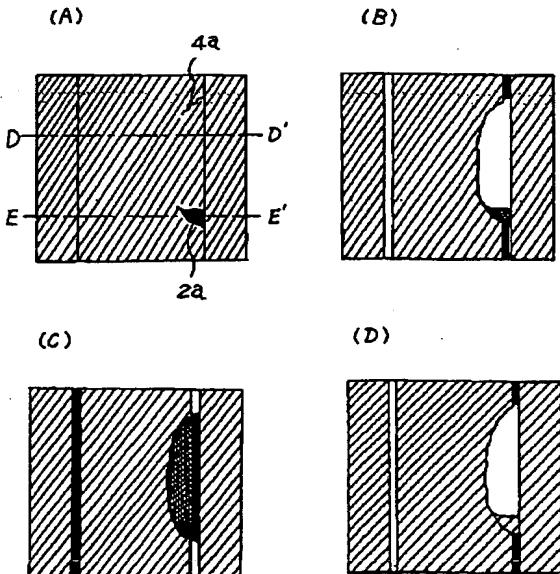
【図18】

図 18

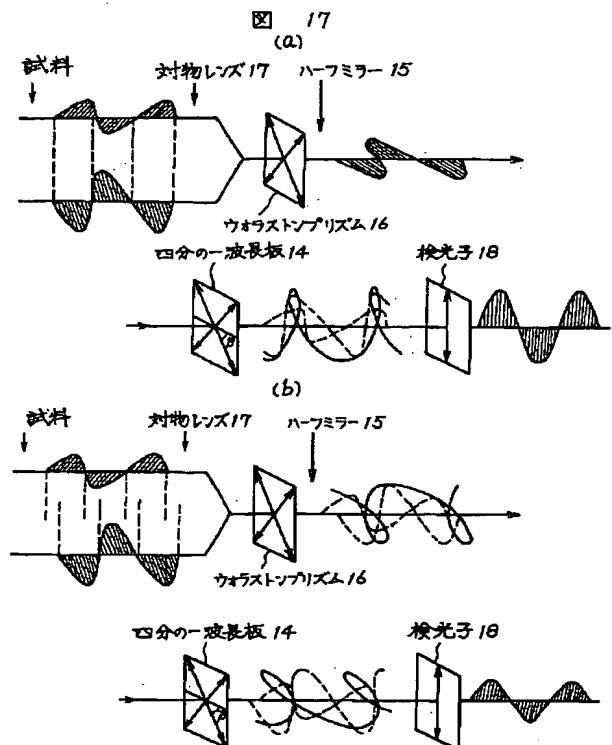


【図23】

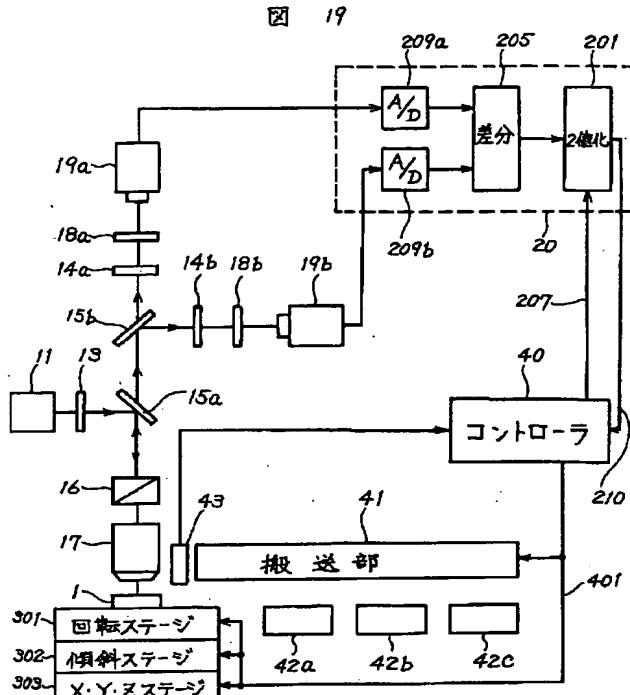
図 23



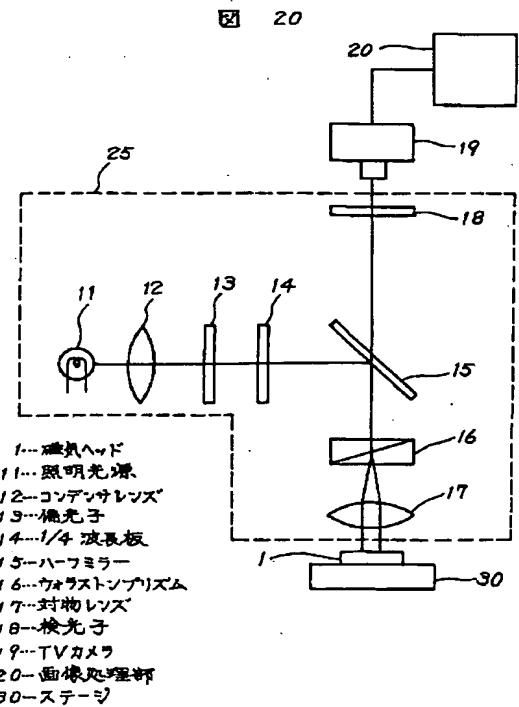
【図17】



【図19】

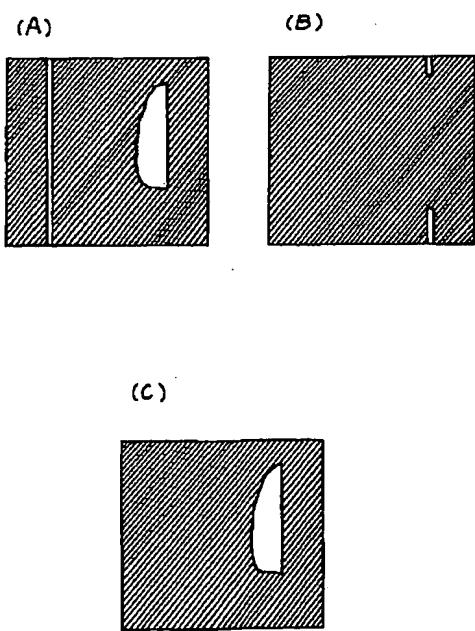


【図20】

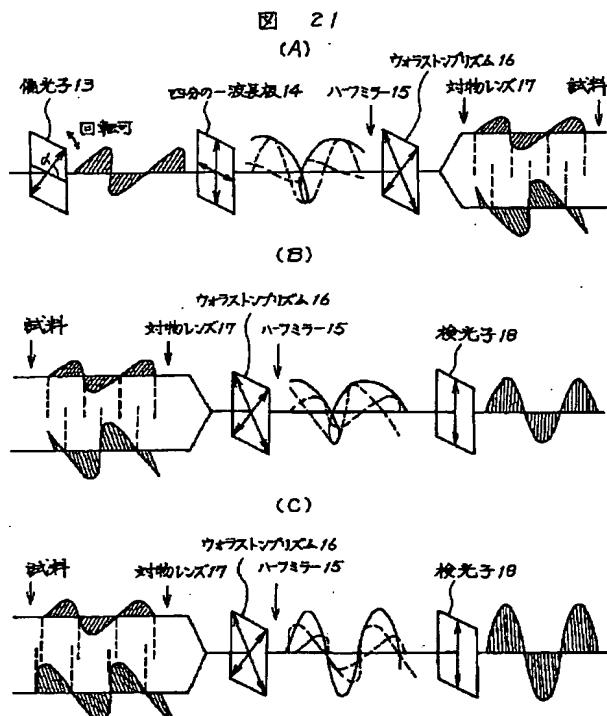


【図24】

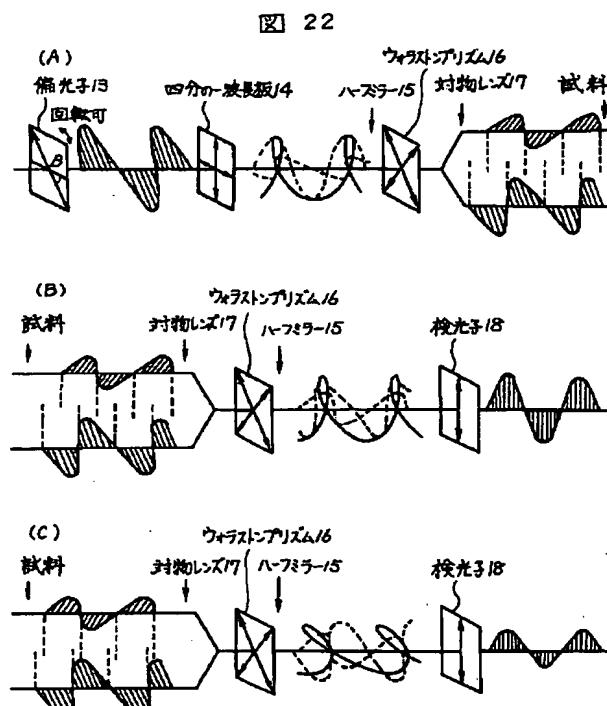
図 24



【図21】

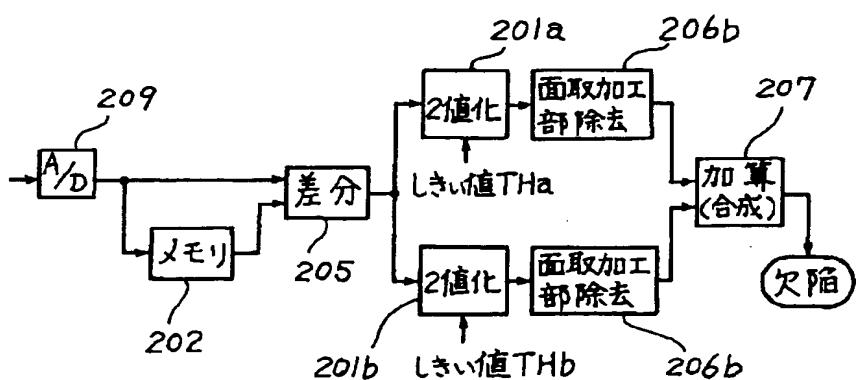


【図22】



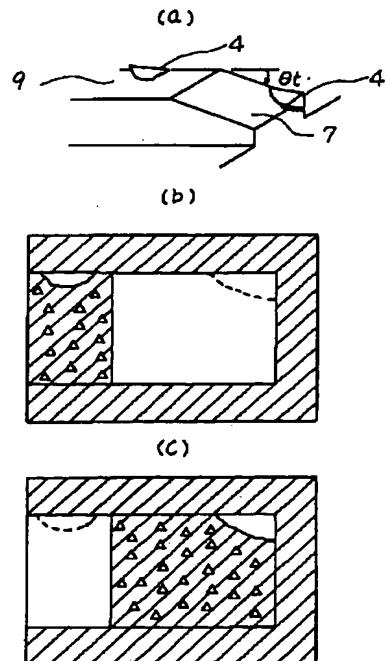
【図25】

図25



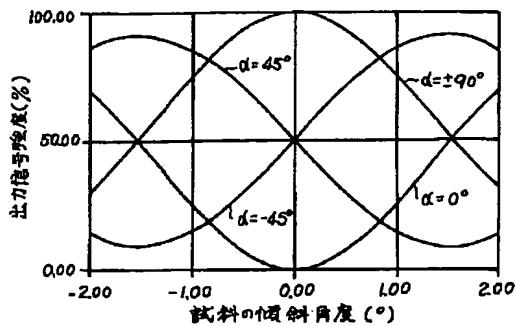
【図36】

図36



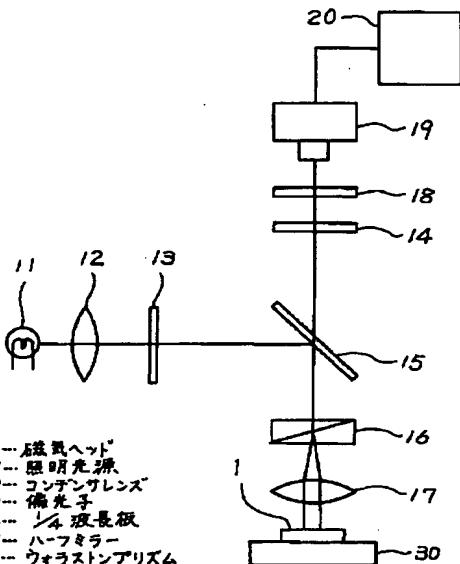
【図26】

図26



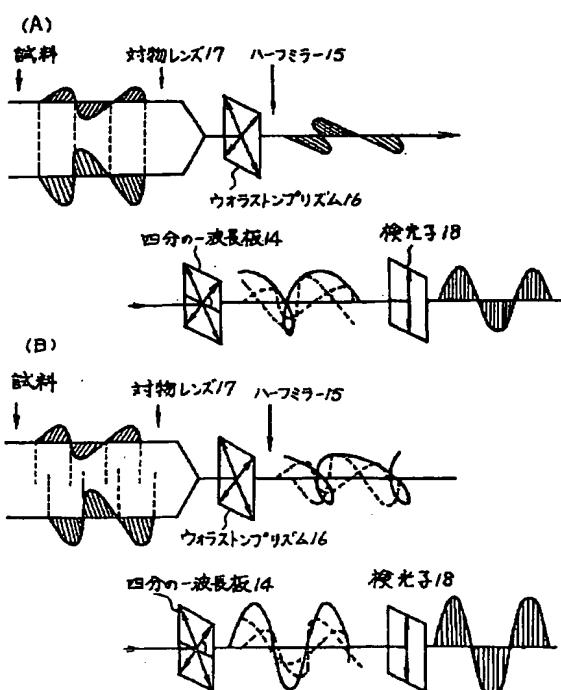
【図27】

図27



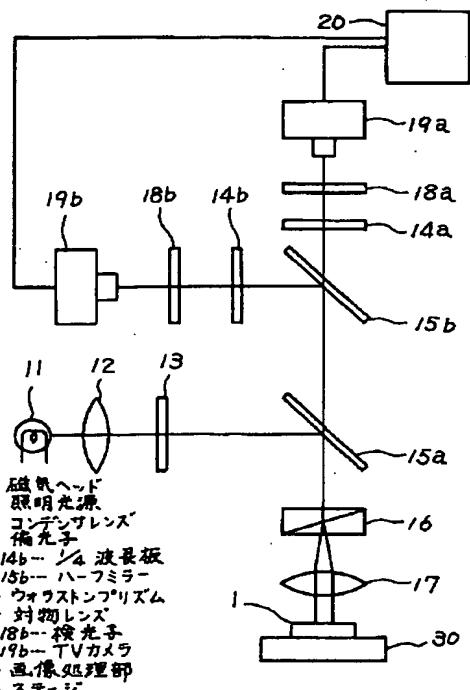
【図28】

図28



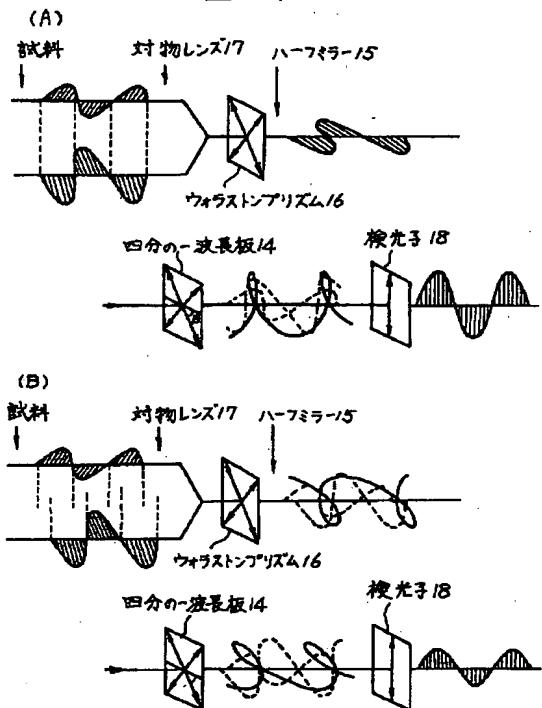
【図30】

図30



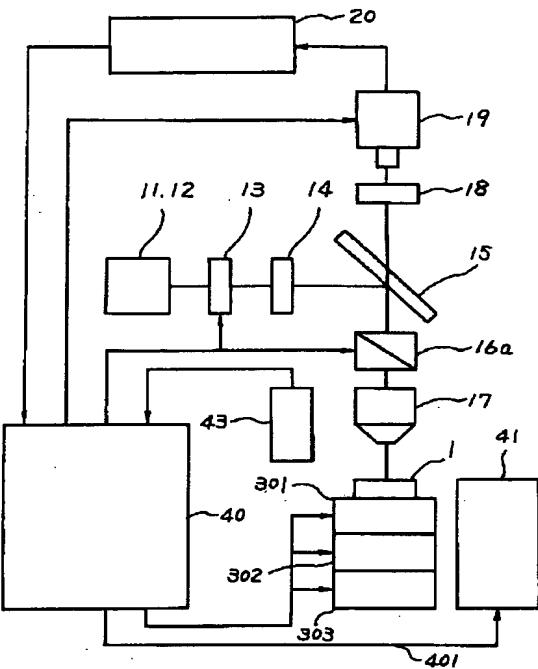
【図29】

図29



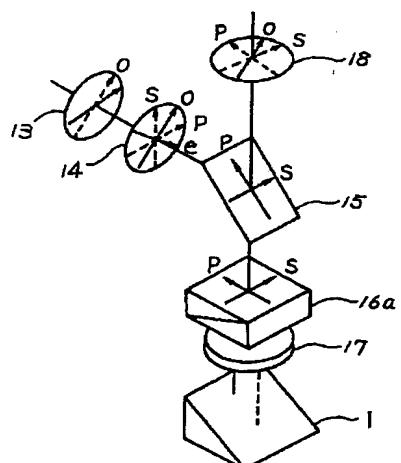
【図32】

図32



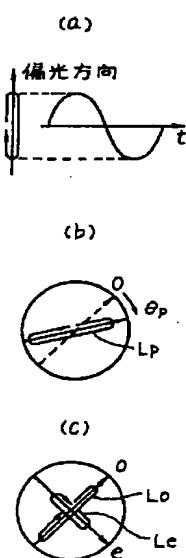
【図33】

図33



【図34】

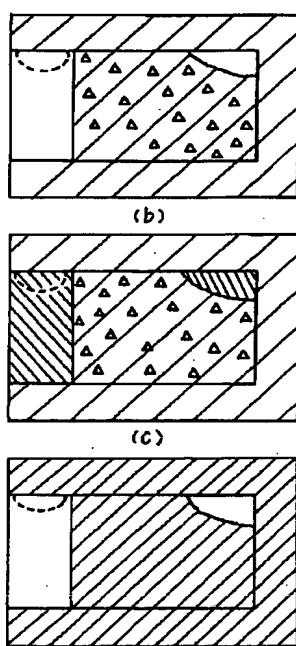
図34



【図38】

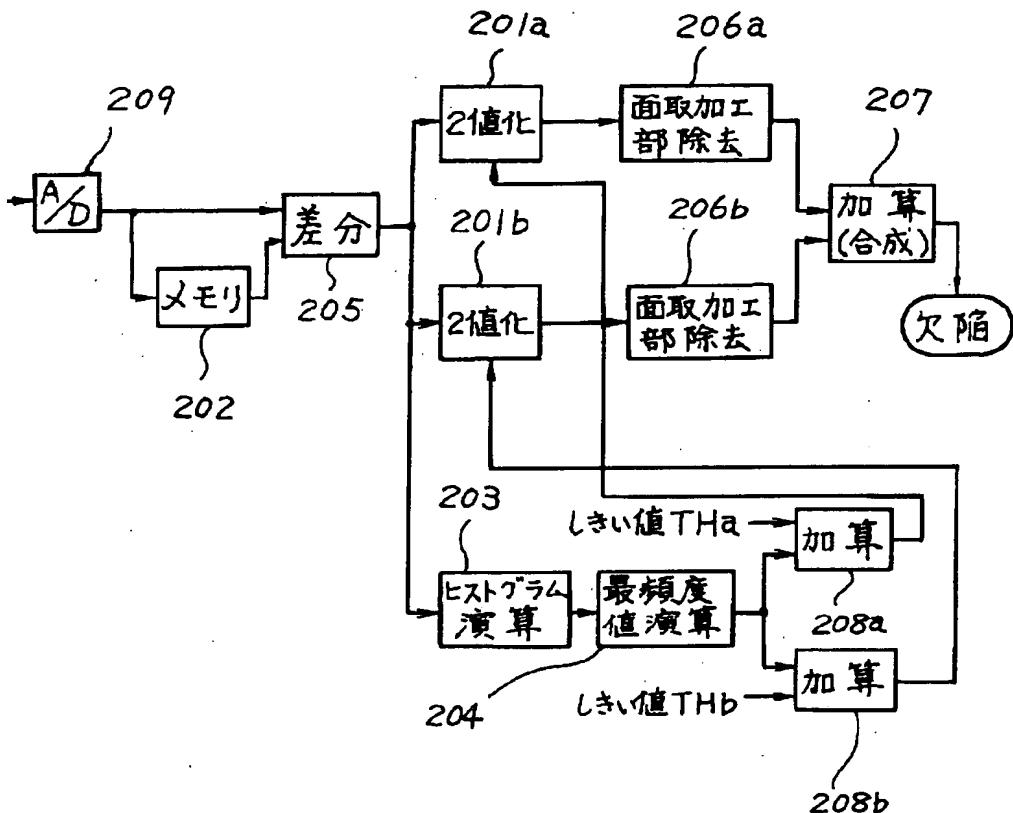
図38

(a)



【図31】

図31



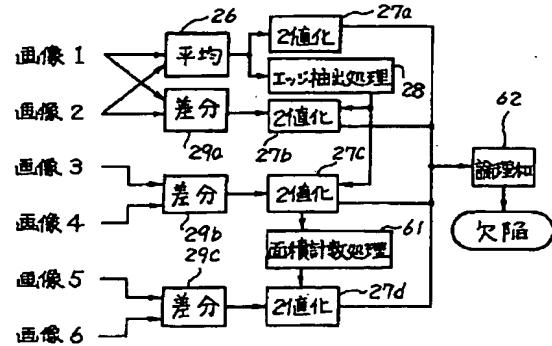
【図42】

図42

	偏光子回転角度	照明光分離方向
画像1	$\pi/4$	レール面短手方向
画像2	$-\pi/4$	レール面短手方向
画像3	$\pi/4$	レール面長手方向
画像4	$-\pi/4$	レール面長手方向
画像5	$\Delta\pi/2 + \pi/4$	レール面長手方向
画像6	$\Delta\pi/2 - \pi/4$	レール面長手方向

【図43】

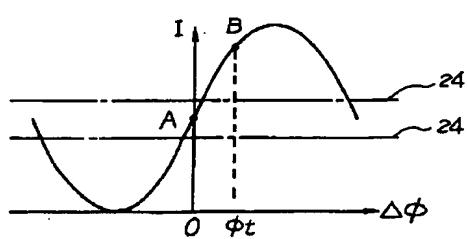
図43



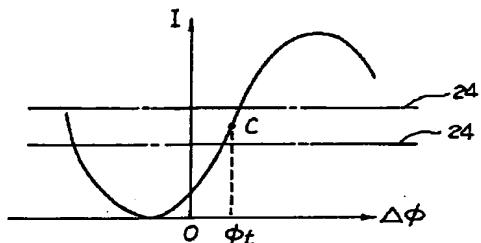
【図35】

図35

(a)



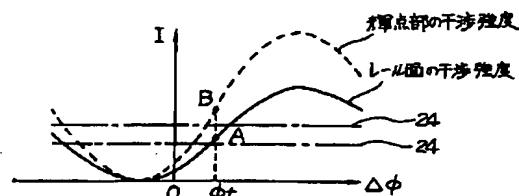
(b)



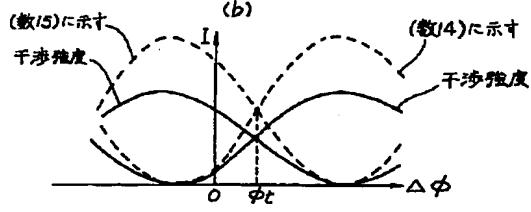
【図37】

図37

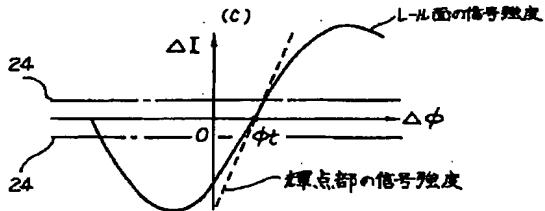
(a)



(b)



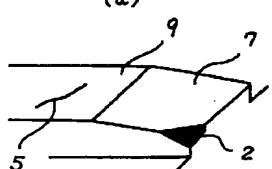
(c)



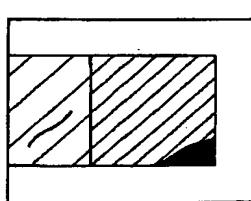
【図39】

図39

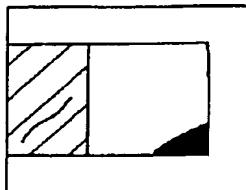
(a)



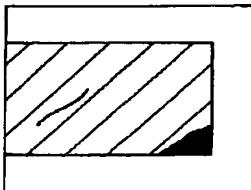
(c)



(b)



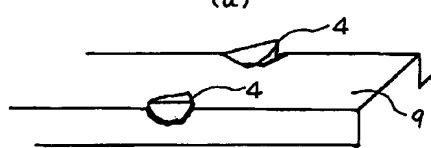
(d)



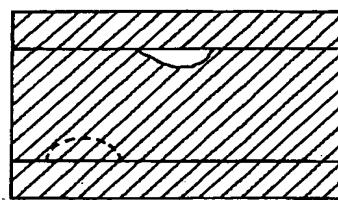
【図41】

図41

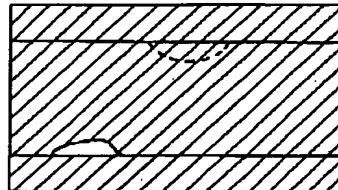
(a)



(b)

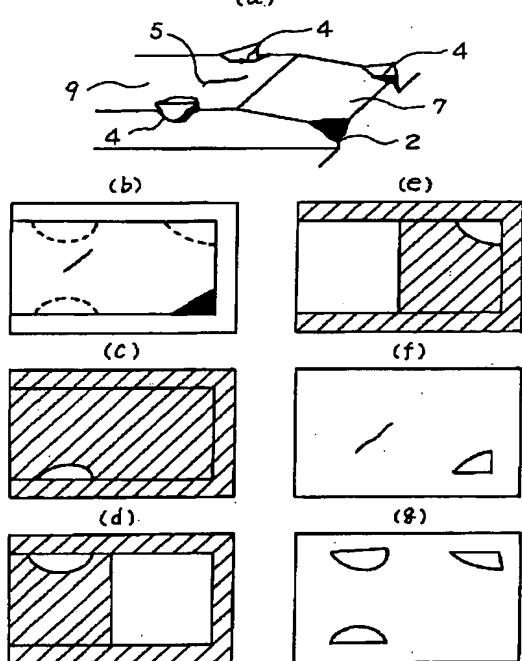


(c)



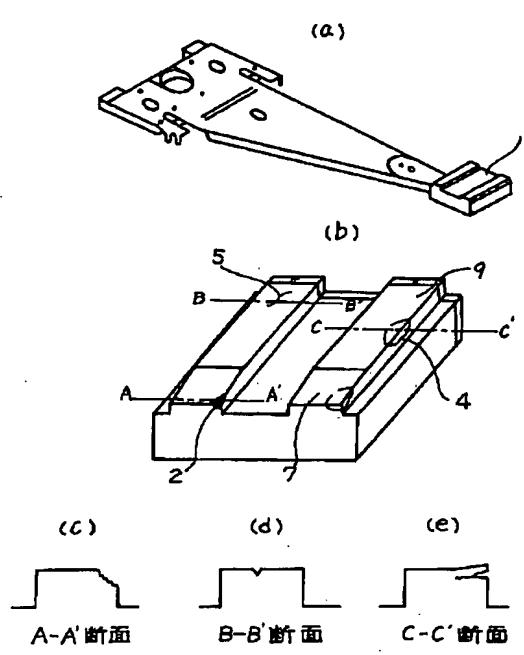
【図44】

図44



【図45】

図45



フロントページの続き

(72)発明者 岩田 尚史

横浜市戸塚区吉田町292番地株式会社日立  
製作所生産技術研究所内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第1区分

【発行日】平成9年(1997)6月6日

【公開番号】特開平5-256795

【公開日】平成5年(1993)10月5日

【年通号数】公開特許公報5-2568

【出願番号】特願平4-289898

【国際特許分類第6版】

G01N 21/88

G01B 11/30

G11B 5/455

【F I】

G01N 21/88 J 0273-2J

Z 0273-2J

G01B 11/30 Z 9505-2F

G11B 5/455 E 7436-5D

【手続補正書】

【提出日】平成8年9月11日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも1つの偏光子と1つの検光子及び複像プリズムであるウォラストンプリズムを備えた顕微鏡と、該顕微鏡により得られる像を検出する画像検出器を有し、該画像検出器により撮像した画像の値を、正常部分の値として予め設定した値あるいは該画像から演算して求めた正常部分の値と比較することにより欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項2】少なくとも1つの偏光子と1つの検光子及び複像プリズムであるウォラストンプリズムを備えた微分干渉顕微鏡と、該顕微鏡により得られる像を検出する画像検出器を有し、該画像検出器により撮像した第1の画像の値を、前記顕微鏡の干渉条件を変更して撮像した同一試料に対する第2の画像の値と比較することにより、欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項3】微分干渉顕微鏡の照明光学系内に存在する偏光子を光軸の回りに回転可能とし、光軸上で対物レンズに近い側に四分の一波長板を挿入し、前記偏光子の偏光方向が前記四分の一波長板の結晶の光軸方向に対し予め設定した角度 $\alpha$ となるように設定して被検査対象の第1の画像を検出し、次いで微分干渉顕微鏡の干渉条件を変更するための前記角度が予め設定した角度 $\beta$ となるように前記偏光子の偏向方向を設定して被検査対象の第2の画像を検出し、該第1の画像と第2の画像を比較する。

ことにより欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項4】微分干渉顕微鏡の検出光学系内に存在する検光子に対し、光軸上で対物レンズに近い側に四分の一波長板を光軸の回りに回転可能な状態で挿入し、該四分の一波長板の結晶の光軸方向が前記検光子の偏光方向に対し、予め設定した角度 $\alpha$ となるように設定して被検査対象の第1の画像を検出し、次いで微分干渉顕微鏡の干渉条件を変更するため前記角度が予め設定した角度 $\beta$ となるように前記四分の一波長板の結晶の光軸方向を設定して被検査対象の第2の画像を検出し、該第1の画像と第2の画像を比較することにより欠陥を検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項5】微分干渉顕微鏡の検出光学系において、照明用のハーフミラー(あるいはハーフプリズム)以降で光路を2分割し、2分割された各々の光路内に四分の一波長板および検光子を備え、四分の一波長板の結晶の光軸方向と検光子の偏光方向のなす角度が各々予め設定した値 $\alpha$ 及び $\beta$ となるように設定することで、被検査対象に対する第1の画像と第2の画像を同時に検出することができるようとしたことを特徴とする請求項4記載の欠陥検出装置。

【請求項6】被検査対象の検査表面を、顕微鏡対物レンズの光軸に対して任意の角度となるように制御可能なステージを備えたことを特徴とする請求項1乃至5に記載の欠陥検出装置。

【請求項7】被検査対象の検査表面を、顕微鏡対物レンズの光軸の回りに回転させることができ可能なステージを備えたことを特徴とする請求項1乃至5に記載の欠陥検出装置。

【請求項8】 照明光から偏光子を用いて直線偏光成分を抽出し、これを複像プリズムにより振動方向が互いに直交し進行方向が異なる2本の光線に分離し、分離した光線で試料上の異なる領域を照明し、試料からの2本の反射光を複像プリズムにより合成し、合成した光のうち干渉する成分のみを検光子で抽出する方法を用い、試料表面の傾斜角度の違いを干渉色あるいはその強度の違いとして検出することにより、試料に存在するひび欠陥を正常部分に対する表面の傾斜角度の違いとして検出することを特徴とする欠陥検出装置。

【請求項9】 照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが抽出されるようにした外観検査方法であって、照明光から抽出された直線偏光成分、あるいは合成後の反射光に対し予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ を付加した状態で外観検査対象上の照明領域に対する第1の画像を検出した後は、予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\beta$ を付加した状態で外観検査対象上の同一照明領域に対する第2の画像を検出し、検出された第1、第2の画像より求められた差画像を予め設定されている2種類のしきい値THa、THb各々によって2値化処理することによって第1、第2の2値差画像を作成し、作成された第1、第2の2値差画像を既知とされている正常傾斜領域部分を無視した上で、論理和合成することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出することを特徴とする外観検査方法。

【請求項10】 照明光源からの、集光状態にある照明光から偏光子により抽出された直線偏光成分を、ハーフミラーを介し複像プリズムによって振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は上記複像プリズムによって合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが検光子で抽出されるようにした外観検査装置であって、外観検査対象を位置決め載置するステージと、偏光子・ハーフミラー間、あるいは複像プリズム・検光子間に介在配置され、偏光子からの直線偏光成分、あるいは複像プリズムからの合成後の反射光に対しオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を順次付加する位相差設定手段と、該位相差設定手段により順次設定される位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 各々に対応して、外観検査対象上の同一照明領域の照明領域の画像を順次検出する画像検出手段と、該画像検出手段からの位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の画像を所定に画像処理することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する画像処理手段を具備したことを特徴とする外観検査装置。

とする外観検査装置。

【請求項11】 照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが抽出されるようにした外観検査方法であって、合成後の反射光を2分割した上、2分割された反射光各々に対し予め設定されたオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を付加した状態で、外観検査対象上の照明領域に対する第1、第2の画像を検出した後は、第1、第2の画像より求められた差画像を予め設定されている2種類のしきい値THa、THb各々によって2値化処理することによって第1、第2の2値差画像を作成し、作成された第1、第2の2値差画像を既知とされている正常傾斜領域部分を無視した上で、論理和合成することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出することを特徴とする外観検査方法。

【請求項12】 照明光源からの、集光状態にある照明光から偏光子により抽出された直線偏光成分を、ハーフミラーを介し複像プリズムによって振動方向が互いに直交し、かつ進行方向が異なる2本の並行光線に分離した上、外観検査対象上の異なる領域を照明する一方、該外観検査対象上の照明位置各々からの反射光は上記複像プリズムによって合成された上、合成された反射光のうち、干渉成分のみが検光子で抽出されるようにした外観検査装置であって、外観検査対象を位置決め載置するステージと、複像プリズム・検光子間に介在配置され、複像プリズムからの合成後の反射光を2分割する反射光2分割手段と、2分割された反射光各々に対しオフセットとしての位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ を付加する第1、第2の位相差設定手段と、該第1、第2の位相差設定手段各々からの反射光より干渉成分のみを抽出する、検光子としての第1、第2の干渉成分抽出手段と、該第1、第2の干渉成分抽出手段各々からの、位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の、外観検査対象上の同一照明領域の画像を検出する第1、第2の画像検出手段と、該第1、第2の画像検出手段らの位相差 $\phi\alpha$ 、 $\phi\beta$ 対応の画像を所定に画像処理することによって、外観検査対象上の照明領域内に存在しているひび欠陥による傾斜部分のみを検出する画像処理手段を具備したことを特徴とする外観検査装置。

【請求項13】 照明光から抽出された直線偏光成分を、振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定し、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する外観検査方法であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光波長から計算される2本の反射光に生ず

る位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に少なくとも一  
ゆもしくは $-\phi + \pi/2$ もしくは $-\phi - \pi/2$ なる位相差  
を付与することを特徴とする外観検査方法。

【請求項14】 照明光から抽出された直線偏光成分を、  
振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光長波から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に $-\phi$ なる位相差を付与することにより、該対象を水平に補正した場合と同様な干渉強度を検出することを特徴とする外観検査方法。

【請求項15】 照明光から抽出された直線偏光成分を、  
振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光長波から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に $-\phi + \pi/2$ もしくは $-\phi - \pi/2$ なる位相差を付与することにより、該対象に存在する照明光分離方向に傾斜した領域の干渉強度変化を最大として検出することを特徴とする外観検査装置。

【請求項16】 照明光から抽出された直線偏光成分を、  
振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光長波から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、分離した照明光に $-\phi + \pi/2$ なる位相差を付与した状態において、該対象上の干渉強度を検出した第1の画像と、 $-\phi - \pi/2$ なる位相差を付与した状態での干渉強度を検出した第2画像との差分を演算することにより、該対象上の反射率の違いに影響されることなく、照明光分離方向へ傾斜した領域の干渉強度変化分のみを最大として検出することを特徴とする外観検査装置。

【請求項17】 照明光から抽出された直線偏光成分を、  
振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差

を設定できる手段を有する一方、任意の傾きを有する平面からなる対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該対象の照明光分離方向への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光長波から計算される2本の反射光に生ずる位相差 $\phi$ を演算し、該分離した照明光に $-\phi + \Delta\phi$ なる位相差を付与した状態において、該対象上の干渉強度を検出した第1の画像と、 $-\phi - \Delta\phi$ なる位相差を付与した状態での干渉強度を検出した第2の画像との平均値を演算することにより、該外観検査装置の構成を変更することなく、通常の落射照明状態において検出した画像と同等の信号強度が得られることを特徴とする外観検査装置。

【請求項18】 照明光から抽出された直線偏光成分を反射するハーフミラーと、該反射光を振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離する手段を有する一方、該2本の光線が対象上の異なる2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成する手段と、合成した反射光が該ハーフミラーを透過した後、該透過光を干渉させて検出する構成を有する外観検査装置であって、該2本の光線の互いに直交する振動方向と該ハーフミラーのp偏光方向およびs偏光方向とが一致する構成を有するものであって、ハーフミラーに入射する照明光の振動方向が変化した場合であっても、該干渉強度の変化率を一定として検出することを特徴とする外観検査装置。

【請求項19】 照明光から抽出された直線偏光成分を、  
振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離する手段を有し、該照明光分離方向が回転可能とした構成において、該照明光により対象上の異なる2点を照明する一方、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成し、合成された反射光を干渉させて干渉強度を検出する構成を有する外観検査装置であって、該照明光分離方向を光軸を中心として90度回転する前後ににおいて2枚の画像を検出し、該2枚の画像各々から干渉強度が正常部と異なる領域のみを抽出し、各抽出結果を合成することにより、該対象を回転することなく、いずれの方向に傾斜した領域であっても検出できることを特徴とする外観検査装置。

【請求項20】 照明光から抽出された直線偏光成分を、  
振動方向が互いに直交し、かつ一定距離離れた2本の平行光線に分離した上、これら2本の光線に任意の位相差を設定できる手段を有する一方、該照明光分離方向が回転可能とした構成において、複数の傾斜平面から構成される対象上の2点を照明し、該対象上の照明位置各々からの反射光を合成後干渉させて干渉強度を検出する手段と、検出された干渉強度を処理する画像処理部と、上記各構成要素を制御する手段とからなる外観検査装置であって、該対象を構成する各平面iの照明光分離方向1への傾斜角度と照明光の分離距離と照明光長波から計算さ

れる2本の反射光に生ずる位相差 $\phi_{i1}$ を演算し、分離した照明光に $-\phi_{i1} + \pi/2$ ,  $-\phi_{i1} - \pi/2$ なる位相差を付与したそれぞれの状態での干渉強度を2枚の画像により検出し、該2枚の画像から得られる差画像から照明光分離方向1へ傾斜した領域を検出後、さらに照明光分離方向を90度回転した状態で、平面*i*の照明光分離方向2への傾斜角度から反射光に生ずる位相差 $\phi_{i2}$ を演算し、照明光に $-\phi_{i2} + \pi/2$ ,  $-\phi_{i2} - \pi/2$

なる位相差を与えて検出した2枚の画像から差画像を演算し、該差画像から照明光分離方向2へ傾斜した領域を検出後、該2つの検出結果を合成する一方、以上動作を制御信号により、該対象の構成平面数繰り返すことにより、該対象を移動することなく、各構成平面上であらゆる方向に傾斜した領域を反射率の違いに影響されることなく、干渉強度変化分を最大として検出することができることを特徴とする外観検査装置。